

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN- TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS

**“Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la
remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada
Juningullo – La Mina, Moyobamba – San Martín”**

PRESENTADO POR:

Bach. Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua

ASESOR:

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

Código N° 6054516

MOYOBAMBA - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS


**“Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la
remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada
Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín”**

PRESENTADO POR:

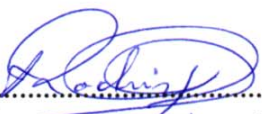
Bach. Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado

el día 20 de octubre de 2017


.....
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita VALVERDE VERA
Presidente


.....
Ing. Gerardo CÁCERES BÁRDALEZ
Secretario


.....
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo RODRÍGUEZ PÉREZ
Miembro


.....
Ing. M.Sc. Yrwín Francisco AZABACHE LIZA
Asesor

MOYOBAMBA - PERÚ

2017

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

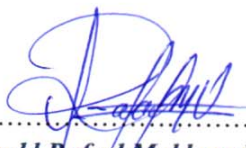
Yo, **Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua**, egresado de la Facultad de **Ecología**, en la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria** de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° **70471406**, con la tesis titulada **“Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juningullo – La Mina, Moyobamba – San Martín”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada no total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otra persona de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 28 de febrero del 2018


.....
Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua
DNI N° 70471406



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	MALDONADO USHITAMUA ARNOLD RAFAEL		
Código de alumno :	095261	Teléfono:	993291994
Correo electrónico :	rmaldonado05@gmail.com		DNI: 70471406

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	E COLOGIA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juningullo - La Mina, Moyobamba - San Martín.
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

09 / 03 / 2018



Firma de Unidad de Biblioteca

* Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día mas

A mi madre, Asucena Ushiñahua (QEPD), por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre Jorge Maldonado (QEPD), a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre, y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento sería tan especial para ti como lo es para mí. por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A mi hija, Dara Valeska Maldonado Vásquez, por tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aún a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida, te agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Eres mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis.

A Daniela Vásquez Bárdalez, quien me ha apoyado en todo este tiempo estudiantil para cumplir con este objetivo y por los buenos y malos momentos que pasamos juntos y apoyarme siempre.

A mis hermanos, Vanessa, Renato y Martín, por estar conmigo y apoyarme siempre, muchas veces poniéndose en el papel de padres, los quiero mucho.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A todos mis amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Diego Lozano, Cesar Trigozo, Odilardo Rojas, Claudia Rojas, Hans Mirano, Sherley Llanos, Luis Castillo, Danilo López y Albert Coral, por compartir los buenos y malos momentos.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, ustedes ya saben quiénes son.

Finalmente, a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesoría y dudas presentadas en la elaboración de tesis

Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida y por acompañarme todos los días.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar. A mi padre, que siempre lo he sentido presente en mi vida, y sé que está orgulloso como mi madre lo está de mí, que aun estando lejos los llevo siempre en mi corazón y mente.

A mis hermanos, que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se presentaron a lo largo de mi vida

A Daniela Vásquez, por darme una hermosa y maravillosa hija, y por todas las cosas que vivimos juntos, también agradecer a su familia en especial a su mamá, que ellos me brindaron su apoyo incondicional.

A mi abuelita Mae Nicolasa Panduro Correa, que con su ayuda, consejos, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare

Al Ing. M.Sc. Yrwin Azabache, Director de mi Escuela Profesional, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de este trabajo de investigación.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este trabajo de investigación.

Arnold Rafael Maldonado Ushiñahua

ÍNDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Características del agua no tratada.....	7
2.2.2. Turbiedad.....	7
2.2.2.1. Factores que afectan la coagulación de la turbidez.....	8
2.2.3. Color	10
2.2.3.1. Mecanismos de remoción del color	11
2.2.4. Coagulación y floculación	11
2.2.4.1 Mecanismos de coagulación y floculación.....	12
2.2.4.2. Mecánica del proceso de coagulación	13
2.2.4.3. Mecánica del proceso de floculación.....	14
2.2.4.4. Prueba de jarras.....	15
2.2.4.5. Principales coagulantes.....	15
2.2.4.6. Almidón.	18
2.2.5. Clarificación del agua	19
2.2.6. Quebrada Juninguillo.....	20
2.2.7. Marco legal e institucional.....	21
2.3. Definición de términos básicos	23
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	25
3.1. Sistema de hipótesis.....	25
3.2. Sistema de variables	25

3.3. Tipo y nivel de investigación.....	25
3.3.1. De acuerdo a la orientación.	25
3.3.2. De acuerdo a la técnica de contrastación:	25
3.4. Diseño de investigación.....	25
3.5. Población y Muestra	26
3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	26
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	27
CAPITULO IV.- RESULTADOS	28
4.1. Parámetros iniciales de la quebrada Juningullo- La Mina, Moyobamba	28
4.2. Determinación de la dosis optima del clarificante, velocidad y tiempo:	29
4.3. Efectos del clarificante natural sobre la turbidez y color:	41
4.4. Comparación de los efectos de remoción del clarificante natural con el sulfato de aluminio	44
4.5. Discusión de resultados	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 1 (ECAS)	
Población y Recreacional.	22
Tabla 2: Análisis de parámetros.	27
Tabla 3: Parámetros iniciales de la quebrada Juningullo	28
Tabla 4: Primer ensayo con almidón de yuca al 1%	29
Tabla 5: Segundo ensayo con almidón de yuca al 2%	30
Tabla 6: Tercer ensayo con almidón de yuca al 3%	31
Tabla 7: Cuarto ensayo con almidón de yuca al 4%	32
Tabla 8: Quinto ensayo con almidón de yuca al 5%	33
Tabla 9: Sexto ensayo con almidón de yuca al 6%	34
Tabla 10: Promedio total de los ensayos realizados a diferentes concentraciones de almidón de yuca	35
Tabla 11: Ensayo 1 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	36
Tabla 12: Ensayo 2 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	37
Tabla 13: Ensayo 3 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	38
Tabla 14: Ensayo 4 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	39
Tabla 15: Promedio de las diferentes velocidades de los ensayos al óptimo de concentración	40
Tabla 16: Remoción del color con almidón de yuca	42
Tabla 17: Remoción de la turbidez con almidón de yuca	43
Tabla 18: Remoción del color con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio	44
Tabla 19: Remoción de la turbidez del almidón de yuca y el sulfato de aluminio	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura química de la molécula de amilosa.	19
Figura 2: Estructura química de la molécula de amilopectina.	19
Figura 3: Diagrama del diseño	25
Figura 4: Parámetros iniciales de la quebrada Juninguillo, comparado con los ECAs	28
Figura 5: Primer ensayo con almidón de yuca al 1%	30
Figura 6: Segundo ensayo con almidón de yuca al 2%	31
Figura 7: Tercer ensayo con almidón de yuca al 3%	32
Figura 8: Cuarto ensayo con almidón de yuca al 4%	33
Figura 9: Quinto ensayo con almidón de yuca al 5%	34
Figura 10: Sexto ensayo con almidón de yuca al 6%	35
Figura 11: Promedio total de los ensayos realizados a diferentes concentraciones de almidón de yuca	36
Figura 12: Ensayo 1 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	37
Figura 13: Ensayo 2 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración	38
Figura 14: Ensayo 3 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración	39
Figura 15: Ensayo 4 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.	40
Figura 16: Promedio de las diferentes velocidades de los ensayos al óptimo de concentración	41
Figura 17: Remoción del color con almidón de yuca	42
Figura 18: Remoción de la turbidez con almidón de yuca	43
Figura 19: Remoción del color con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio	44
Figura 20: Remoción de la turbidez con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01: Ubicación de la Quebrada Juninguillo.	56
ANEXO 02: Elaboracion del almidon de yuca	57
ANEXO 03: Elaboracion de la solucion patron del almidon de yuca	57
ANEXO 04: Panel Fotografico	58
Foto 01: Programación del equipo de prueba de jarras	58
Foto 02: Colocación de las muestras de agua para la coagulación	58
Foto 03: Observación y control de las muestras	59
Foto 04: Observación del proceso de formación de los floculos	59
Foto 05: Sedimentación y clarificación del agua	60

RESUMEN

Los métodos tradicionales en el tratamiento de aguas para el consumo humano utilizan sustancias químicas, algunas de las cuales se sospecha que puedan causar graves enfermedades tal es el caso de aluminio; estas son preocupaciones que nos impulsan a buscar ideas y propuestas que permitan mejorar lo que se viene realizando por el bien de todos.

Es así que, partiendo del recurso hídrico, presente en la quebrada Juninguillo la cual en épocas de avenida tiene valores muy elevados de turbiedad y color, se formula la siguiente problemática a determinar ¿En qué medida la aplicación del clarificante almidón de yuca puede remover la turbidez y color, en las aguas de la quebrada de Juninguillo, Moyobamba? Para el cual se han realizado 9 ensayos con 36 pruebas, todas a diferentes concentraciones y velocidades; llegando a concluir que el clarificante de yuca ha removido en 48% al color, partiendo del valor inicial tomado; y ha removido en un 50% la turbidez del agua de la quebrada. Se pudo demostrar que es una sustancia muy simple y buena, pues no afecta el pH, y determinando que la concentración óptima fue de 1% de almidón en solución.

Se pudo demostrar que los dos parámetros considerados en esta investigación actúan de diferente forma y esto se hace notar en la velocidad: siendo óptima para la turbidez de 150 rpm y en cambio para el color fue de 200 rpm, pero en comparación con la utilización de sulfato de aluminio, el cual ha removido en 85% y 95% para el color y turbidez respectivamente, esta no alcanza los valores estimados por los Límites Máximos Permisibles, por ello se cree que este puede ser utilizado como un floculante ayudante y combinado con el sulfato de aluminio, pues este ayudaría a controlar a parte de los parámetros para la clarificación mejoraría mucho los resultados del pH que se obtienen en la utilización del agente químico.

Palabras claves: Floculante, clarificación, agente, turbiedad, color, avenida.

ABSTRACT

Traditional methods in the treatment of water for human consumption, substances that cause diseases and the death; These ideas drive us to look for ideas and proposals that allow us to improve what has been done for the good of all.

Thus, starting from the water resource, present in the Juninguillo stream, which in times of flood has very high values of turbidity and color, the following problem is formulated to determine: To what extent the application of clarifying cassava starch can remove the turbidity and color, in the waters of the Quebrada de Juninguillo, Moyobamba? For which 9 tests with 36 tests have been carried out, all at different concentrations and speeds; arriving to conclude that the cassava clarifier has removed 48% of the color, starting from the initial value taken; and it has removed by 50% the turbidity of the water in the stream. It could be demonstrated that it is a very simple and good substance, because it does not affect the pH, and determining that the optimum concentration was 1% of starch in solution.

It was possible to demonstrate that the two parameters considered in this investigation act differently and this is noted in the speed: being optimal for the turbidity of 150 rpm and instead for the color was 200 rpm, but in comparison with the use of aluminum sulfate, which has been removed in 85% and 95% for the color and turbidity respectively, this does not reach the values estimated by the Maximum Permissible Limits, therefore it is believed that this can be used as a flocculant helper and combined with the aluminum sulfate, since this would help to control part of the parameters for clarification would greatly improve the pH results obtained in the use of the chemical agent.

Keywords: Flocculant, clarification, agent, turbidity, color, avenue.



INTRODUCCIÓN

La constante explotación de los recursos de manera inadecuada y de forma indiscriminada ha ocasionado un sin número de desastres; hay recursos como el agua que es esencial para vivir, que la naturaleza da para ser aprovechada de manera adecuada, y aunque no muchas veces esta es adecuada para el consumo directo de la población, pues en muchas de las quebradas de la selva y del mundo se ha encontrado bastante contaminada, por el solo hecho de observar el color y la cantidad de partículas que le confieren turbidez al agua.

Estos dos parámetros que son evidenciables a simple vista, son los que dan fe de las acciones realizadas, la gran parte de la contaminación de los ríos, lagos y lagunas los realizamos nosotros mismo con nuestras malas prácticas, cabe mencionar que es el suelo el que confiere el color al agua por su concentración en algunos elementos propios de la zona.

En las plantas de tratamiento de todo el país se utiliza agentes químicos para clarificar y potabilizar el agua, los cuales en dosis elevadas causan problemas en las redes de distribución e incluso estarían ocasionando enfermedades a largo plazo con la medida excesiva de químicos en el cuerpo humano.

La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; de esta manera se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales tales como el sulfato de aluminio y el sulfato férrico para tratar el agua y se abre la posibilidad a nuevas tecnologías a bajo costo, inocuas para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente. **(Jaramillo y Ramírez, 2015).**

Es por ello que se ha dado la importancia de estudiar e informar la utilización de un insumo natural hecho a base de yuca para su utilización como un clarificante natural del agua de la quebrada que se encuentra cercana a la ciudad de Moyobamba, es decir de la quebrada Juninguillo.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso finito y las provisiones fácilmente accesibles se están volviendo menos abundantes. Con la escasez del agua ya como una realidad en muchas partes del mundo, se espera que la población y junto con los impactos exacerben aún más este asunto. El logro de estas soluciones se compone de demandas de energía para obtener, almacenar y producir una fuente de agua segura. **(Mihelcic y Zimmerman, 2012).**

La microcuenca Juninguillo, es una alternativa para el abastecimiento de agua para la población de Moyobamba, ya que esta ciudad ha tenido un notable crecimiento demográfico. **(Proyecto Especial Alto Mayo, 2006).** Es necesario considerar de importancia el tratamiento de estas aguas para el abastecimiento; siempre y cuando estas aguas generen menor gasto en su tratamiento. Siendo necesario analizar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, de los cuales son necesario las concentraciones de hierro y magnesio, debido a que las características físicas del agua son un indicio de la presencia de estos elementos. Además, pueden causar problemas en algunas instalaciones de una nueva planta potabilizadora, ya que la que existe se encuentra en mal estado; como en instalaciones sanitarias domesticas e incluso en los recipientes que almacenen el agua. Siendo conveniente identificar las causas directas que generan las altas concentraciones de estos elementos presentes en la microcuenca Juninguillo.

Las aguas de la microcuenca Juninguillo, presentan color y turbidez muy por encima del estándar de 15 UPC y 5 UNT para ser potabilizada por desinfección, pero no superan los 100 UPC y los 100 UNT para ser tratada por tratamiento convencional. **(Cubas, 2013),** esto debido que en el suelo de la microcuenca Juninguillo presenta alto contenido de hierro y manganeso.

1.2. Formulación del problema

Conociendo que la quebrada Juninguillo tiene valores elevados de turbiedad y color, se ha formulado la siguiente pregunta: ¿En qué medida la aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) puede remover la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo –La Mina, Moyobamba – San Martín, 2017?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida el clarificante de origen natural (almidón de yuca) remueve la turbidez y color, en aguas de consumo humano, quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba - San Martín.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros iniciales (color y turbidez) de la quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba - San Martín.
- Determinar la dosis óptima de clarificante, velocidad de agitación, tiempo de mezcla; usando tratamiento Prueba de Jarras.
- Evaluar los efectos del clarificante natural sobre la turbidez y color en el tratamiento de potabilización.
- Comparar los efectos en la remoción del color y turbidez del clarificante natural con el sulfato de aluminio.

1.4. Justificación de la investigación

Métodos tradicionales en el tratamiento de aguas para el consumo humano utilizan sustancias químicas, algunas de las cuales se sospecha que puedan causar graves enfermedades tal es el caso de aluminio, que se dice que es muy probable que cause el Alzheimer, es por ello que hoy en día como parte de la contribución hacia la reducción de los efectos del cambio climático y la degradación del ambiente, se viene promoviendo el uso de sustancias de origen natural (polielectrolitos naturales) en algunos procesos unitarios referidos al tratamiento de aguas para el consumo humano, específicamente en los procesos de coagulación/floculación para la remoción de algunas impurezas que no hayan sido eliminadas en operaciones previas. (**Marín, 2006**).

La calidad del agua repercute de gran manera en la calidad sanitaria del agua que se distribuye a una población y esta a su vez repercute de manera significativa en la salud de las personas.

Desde muchos puntos de vista, el agua es considerada no solo un factor esencial para el desarrollo global de las naciones, sino también es calificado como el recurso en función del cual, se establecen los límites de ese desarrollo de las naciones.

La turbidez y el color en el agua fueron las razones de los primeros tratamientos del agua para el consumo, porque muchas fuentes naturales contenían partículas que eran de aspecto y sabor cuestionables.

El agua potable en el Perú no llega ni al uno por ciento de la población rural. Por lo mismo, resulta imperativo desarrollar un esfuerzo no solo integral, sino específico que pueda abordar los desafíos propios del agua y el saneamiento en el ámbito rural. La solución al desabastecimiento rural se ha concentrado de modo exclusivo en la construcción de infraestructura física y/o se han basado en modelos tecnológicos no necesariamente apropiados para las áreas rurales, siendo crucial la inversión en infraestructura física para el saneamiento, necesita ir acompañada de acciones que garanticen su sostenibilidad. **(Plan de Mediano Plazo 2013 – 2016).**

La quebrada Juninguillo- La Mina, es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad de Moyobamba, sin embargo, es una de las fuentes con más alta presencia de turbidez y color, que provoca la dispersión y absorción de la luz, dando una apariencia turbia, estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa.

La presente investigación pretende buscar un tratamiento diferente a la convencional que trata con el sulfato de aluminio y cloruro férrico; y sustituirlo por clarificante naturales como es el almidón de yuca para la remoción de turbidez y color, de esta manera se contribuirá con la empresa prestadora de servicios y a la población de la ciudad de Moyobamba con una nueva alternativa para el tratamiento del agua potable.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A. Internacionales

Moscozo (2015), en el trabajo de investigación titulado: “El uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación” está bastante extendido y es práctica corriente en muchas plantas de tratamiento de agua. Desde el punto de vista ambiental, hay reportes que en el análisis realizado a muestras de aguas potabilizadoras se han encontrado trazas de sulfato de aluminio, esta investigación está orientada a encontrar qué porcentaje del sulfato de aluminio puede ser sustituido por almidón de yuca, en el proceso de coagulación- floculación para la potabilización de agua; utiliza yuca, común para el consumo humano; donde en una serie de pasos se logra aislar el almidón de yuca. Los diferentes niveles de turbiedad se lograron empleando arcilla llamada caolín, para establecer turbiedades que van de 0 a 1000 NTU. Luego de determinar la dosis óptima de 70 miligramos por litro de sulfato de aluminio a través de la prueba de jarras su fue sustituyendo el sulfato de aluminio por almidón de yuca en proporciones del 20 %. De esto, y luego de realizar 60 pruebas para determinar si es posible sustituir el sulfato de aluminio hasta un 40 % por almidón de yuca para lograr valores inferiores a 5 NTU, se determinó que sí es posible para ciertos valores de turbiedad iniciales.

Hernández et. al (2012), nos dice que las partículas suspendidas confieren color y turbiedad indeseables a las aguas superficiales, por ello en el estudio: “El uso de agentes químicos como el sulfato de aluminio permite remover una proporción significativa de los sólidos suspendidos, clarificando el agua para su potabilización posterior”. En este estudio se compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio (30 mg/L, tratamiento 1), en la clarificación de una muestra de agua de río (color de 85 CU, turbiedad de 70 NTU y pH de 6.8). Esta dosis, sirvió como base para la preparación de seis mezclas con distintas

composiciones de almidón y sulfato de aluminio (tratamientos 2 a 7). En cada tratamiento se midieron tres parámetros físico -químicos relevantes en ensayos de coagulación-floculación: color, turbiedad y pH. Los resultados indican que la mayor reducción de color (94 % de eficiencia) se obtuvo con el tratamiento 2 (2 mg/L de yuca más 28 mg/L de sulfato de aluminio). La remoción de color en los tratamientos 3 y 4 (4 mg/L de yuca más 26 mg/L de sulfato de aluminio y 6 mg/L de yuca más 24 mg/L de sulfato de aluminio, respectivamente). En cuanto a la remoción de turbiedad se observa que los tratamientos 1 y 2 con una reducción del 98.7 y 97.9 % respectivamente. Finalmente, el pH no varió significativamente para todos los tratamientos.

(Arcila, 2014) “Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano”, En este trabajo se analiza la remoción de turbiedad en agua proveniente de una fuente natural, mediante coagulación/floculación, usando almidón de plátano. Se planteó un diseño experimental factorial aleatorio de cuatro factores variables, a saber: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. Se realizaron pruebas de jarras para determinar los valores óptimos de dichos factores. El almidón de plátano muestra ser adecuado como ayuda de floculación, aunque se presentó una sedimentación lenta. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad se obtuvo para los siguientes valores de los factores: pH de 5, 50:50 porcentaje en peso de la combinación sulfato de aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150 rpm., velocidad de mezcla lenta de 20 rpm

B. Nacionales

Pompolio (2013) en el presente trabajo monográfico denominado "Uso de Floculantes de Origen Natural en el Tratamiento del Agua en Términos de Turbidez en el Rio Santa - Huaraz", compila diferentes métodos y experiencias de floculación del agua haciendo uso de floculantes de origen natural. La extracción del coagulante se realizó de tres especies de Opuntia: Opuntia imbrícala, Opuntia ficcus y Opuntia microdasys, lo cual se realizó utilizando acetona como solvente, lográndose así un rendimiento entre 2.5 y 7.0 % en base húmeda para remover la turbidez del agua; En las muestras en que se aplicó alumbre y coagulante natural se obtuvo una remoción

de color de 200 a 35 unidades, lo que representó un 82.5 %. De acuerdo a los resultados obtenidos en la remoción de turbidez en las muestras de agua del Rio Santa, con el uso solamente de floculantes naturales y sin sulfato de aluminio, la remoción que presentó no es la esperada debido a una sedimentación deficiente, ya que con el coadyuvante se aumenta el tamaño del floc pero no se consistencia e incremento de peso.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Características del agua no tratada

La mayoría de los consumidores esperan que el agua potable sea clara, incolora, inodora y libre de químicos dañinos y microorganismos patógenos. Las aguas naturales generalmente contienen algún grado de constituyentes disueltos, de partículas y microbiológicos, los cuales obtienen del medio ambiente que las rodea. Los procesos naturales de desgaste natural geológicos pueden impartir iones inorgánicos en el agua, y éstos pueden causar problemas relacionados con el color, la dureza, el sabor y el olor. La materia orgánica disuelta en el agua, la cual se deriva de la vegetación en descomposición, puede dar un color amarillento o café al agua. El medio ambiente terrestre circundante, puede provocar que pequeñas o coloidales partículas de arcilla se suspendan en el agua, lo cual puede hacer que el agua se vea turbia o nubosa. Los, microorganismos naturalmente ocurrentes como las bacterias, los virus y los protozoos pueden encontrar su camino hacia las aguas naturales y provocar problemas de salud. Los químicos orgánicos sintéticos pueden liberarse en el medio ambiente y provocar problemas de salud crónicos o agudos en los seres humanos y la vida acuática. En consecuencia, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua necesitan ser consideradas en el diseño y la operación de un sistema de provisión y tratamiento. (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

2.2.2. Turbiedad.

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan

principalmente en aguas superficiales, son muy difíciles de decantar y filtrar. **(Rigola, 1989).**

La presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros microorganismos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas de dimensiones variables, se pueden agrupar en tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición o agregación de restos vegetales) y partículas filamentosas (por ejemplo, restos de amiantos u otros filosilicatos). **(Marín, 2003)**

Los aportes de aguas turbias de escorrentía en épocas de lluvias ricas en materiales minerales causan aumento de la turbidez en aguas de ríos. Además, las algas en época de su floración también pueden provocar incrementos importantes de turbidez en medios hídricos naturales. **(Hach company, 1997).**

Desde el punto de vista del agua de consumo humano, se suelen correlacionar valores altos de turbidez con la aparición de bacterias y virus. Por otro lado, los compuestos orgánicos de turbidez poseen un notable efecto adsorbente sobre los posibles plaguicidas y pesticidas en general existentes en un agua, dificultando de esta forma su eliminación, además de poder formar quelatos con metales, incrementando la resistencia a la reducción de estos en el posterior tratamiento del agua. **(Marín, 2003).**

2.2.2.1. Factores que afectan la coagulación de la turbidez

La coagulación del color es un fenómeno complejo donde intervienen al menos ocho factores que pueden modificarlo: dosis de coagulantes; pH; concentración de coloides o turbiedad; concentración de sustancias orgánicas en el agua; iones disueltos presentes; intensidad de la mezcla rápida y gradiente de velocidad de la mezcla lenta; movilidad electroforética de las partículas y la temperatura **(Arboleda, 2000).**

- **Influencia del pH:** El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente,

ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta. **(Rodier, 1990).**

- **Influencia de la temperatura del agua:** Como se citó en **(Rodier, 1990)** La variación de 1 °C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.
- **Influencia de la dosis de coagulante:** La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así: Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada. La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra **(Vázquez, 1994).**
- **Influencia de la mezcla:** El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre

el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg, máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos (**Arboleda, 2000**).

Las aguas de más difícil coagulación son las que tienen baja turbidez (turbiedades menores de 20 FTU), ya sea en presencia de color o no. El color cuando está solo requiere de altas dosis de coagulantes y los iones en disolución interfieren en la coagulación. Por ejemplo, cationes divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ayudan a la desestabilización de los coloides, razón por la cual se recomienda añadir cal al agua, en especial si esta es poco mineralizada (**Arboleda, 2000**).

2.2.3. Color

El color, en el agua potable, puede deberse a la presencia de materia orgánica, por ejemplo, sustancias húmicas, metales como el hierro y el manganeso, o residuos industriales fuertemente coloreados. (**Sierra, 2011**).

El color se clasifica como color aparente o verdadero. El color aparente se mide en muestras no filtradas, por lo que incluye el color impartido por la turbiedad. El color verdadero se mide en una muestra de agua pasada a través de un filtro de 40 mm, por lo que es una medida del color impartido por los constituyentes disueltos. Mientras que el color no es una preocupación regulada de salud, puede ser un problema estético para algunos individuos y comunidades, y el tratamiento generalmente se proporciona. (**Sierra, 2011**).

La experiencia ha demostrado que los consumidores pueden acudir a fuentes alternativas, quizás inseguras, cuando su agua muestra a la vista niveles de color desagradable. Por lo tanto, se recomienda que el agua potable sea incolora. El valor guía es de 15 unidades de color verdadero. (**Sierra, 2011**).

2.2.3.1. Mecanismos de remoción del color

El color puede ser removido por adsorción química en los precipitados poliméricos de los productos de hidrólisis de los coagulantes, formándose una interacción entre estos y los grupos carboxílicos de las moléculas orgánicas que producen el color. Lo anterior es posible solo a pH altos. A pH bajos, los compuestos húmicos interaccionan con los compuestos de aluminio cargados positivamente para formar un precipitado de sulfato de aluminio (Arboleda, 2000). Cuando con el color está presente la turbiedad, la superficie de los coloides se incrementa y con esto se estimula la adsorción de las moléculas del color, lo que implica una menor dosis de coagulantes.

2.2.4. Coagulación y floculación

El método más común utilizado para remover las partículas y una porción de materia orgánica disuelta es la combinación de coagulación y floculación seguida por la sedimentación o la filtración. La coagulación es un paso de neutralización de carga que involucra el acondicionamiento de la, materia suspendida, coloidal y disuelta al añadir coagulantes. La floculación La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Spinelli, 2001).

En el tratamiento del agua, el objetivo de la coagulación y floculación es transformar las impurezas que se encuentran en suspensión fina, en estado coloidal o en solución, los microorganismos y el plancton, en partículas de mayor tamaño (flóculos) para que puedan ser eliminadas por sedimentación, y/o filtración o, en algunos casos, por flotación. Las partículas coloidales presentes en el agua exhiben los mayores problemas cuando se trata la remoción de la turbidez y el color. Lo anterior se debe a las propiedades electrocinéticas de los

coloides y también a la consecuencia del tamaño tan reducido de las partículas. (Spinelli, 2001).

2.2.4.1 Mecanismos de coagulación y floculación

➤ Compresión de la doble capa eléctrica

La mayoría de las partículas en el agua tienen una carga de superficie neta negativa. La doble capa eléctrica consiste de una capa de cationes y aniones que se extienden hacia la solución. Cuando la fuerza iónica es alzada la doble capa eléctrica se encoge (las fuerzas de repulsión se reducen). (Spinelli, 2001).

➤ Neutralización de cargas

Debido a que la mayoría de las partículas que se encuentran en las aguas naturales tienen cargas negativas en los pH neutrales, pueden desestabilizarse mediante adsorción o cationes con cargas positiva o polímeros como sales metálicas hidrolizadas y polímeros orgánicos catiónicos. La dosis (en mg/L) de dichas sales o polímeros es crítica para procesos de floculación subsecuentes. Con la dosis apropiada, la carga será neutralizada y las partículas se unirán. Sin embargo, si a dosis es muy alta, las partículas, en vez de neutralizarse, adquirirán una carga positiva y se volverán nuevamente estables. (Spinelli, 2001).

➤ Adsorción y puenteo entre partículas

Con la adición de polímeros no aniónicos y polímeros de cadena grande con carga baja de superficie, una partícula puede ser adsorbida en la cadena, y el resto del polímero puede adsorberse en sitios de la superficie de otras partículas disponibles. Esto resulta en la formación de un puente entre las partículas. Otra vez, existe una dosis óptima (en mg/L) del polímero no iónico. Si se añade demasiado polímero las partículas se enredarán en una matriz de polímero y no flocularán. (Spinelli, 2001).

➤ Precipitación y enredo

El enredo (también referido como flóculo barrido) sucede cuando una dosis suficiente alta de aluminio (y sales de hierro) se añade y forman varios polímeros hídricos que se precipitan de la solución. A medida que el precipitado amorfo se forma, la materia de partículas es atrapada dentro del floculo y se barre del agua con el flóculo estabilizante. Este mecanismo predomina en las aplicaciones de tratamientos de agua en donde el aluminio o las sales de hierro se usan a altas concentraciones y el pH se mantiene casi neutral. **(Spinelli, 2001).**

2.2.4.2. Mecánica del proceso de coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. **(Andia, 2000).**

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. **(Andia, 2000).**

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. **(Andia, 2000).**

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

2.2.4.3. Mecánica del proceso de floculación

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- Floculación pericinéctica o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinéctica o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinéctica para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculos inicial (**Zhang, 2006**).

Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinéctica, promoviendo un desarrollo mayor del microflóculos. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinéctica. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinéctica es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas (**Arboleda, 2000**).

Coto (2011) encontró que si los gradientes de velocidad en el agua son mayores de 5 s^{-1} y las partículas tienen un diámetro mayor de un micrómetro, el efecto de la floculación pericinetica es despreciable.

Por otro lado, el proceso de floculación pericinetica solo es sumamente lento. Se precisan alrededor de 200 días para reducir a la mitad un contenido de 10.000 virus/ml en una muestra de agua, Por lo tanto, la aglomeración de las partículas es el resultado de la actuación de los tres mecanismos de transporte mencionados más arriba (**Coto, 2011**).

2.2.4.4. Prueba de jarras

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un floc de las mejores características (**Restrepo, 2009**).

2.2.4.5. Principales coagulantes

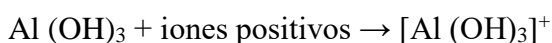
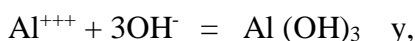
- a. Coagulantes metálicos:** Han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes y, cuando son disueltos, Forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio (**Romero, 2000**).

Sulfato de Aluminio (Alumbre)

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar empleado en tratamientos de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 + 14\text{H}_2\text{O}$, con masa molecular de 600. El material se empaca de diversas maneras en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^{-2} . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal, reduciendo así la potencial zeta a un valor en que la unión de las partículas pueda ocurrir. **(Castrillon,2006).**

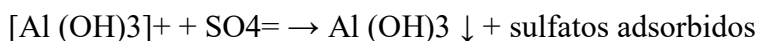
El Al^{+++} puede combinarse también con lo OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.



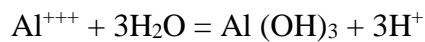
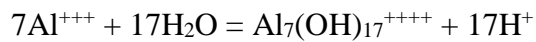
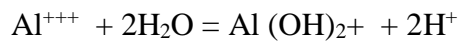
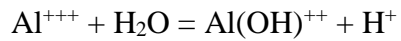
Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que adsorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar su aglomeración. **(Castrillon, 2006).**



Casi siempre se forma un exceso de sol de hidróxido de aluminio, y su destrucción y precipitación se logran mediante iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua:



Con respecto a los coagulantes de hierro y a los de aluminio, se puede afirmar que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el agua para formar iones acuimetálicos e hidrógeno; los aniones permanecen libres o combinados con otros cationes. Con el alumbre ocurren las siguientes reacciones:



Los iones acuimetálicos son adsorbidos por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial, permitiendo la coagulación. La coagulación por adsorción y neutralización de la carga es posiblemente el fenómeno predominante en soluciones de alta concentración de colides. **(Castrillon, 2006).**

Como se dijo previamente, los coloides también pueden ser barridos por los flocs formados, al resultar atrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; en otras palabras, los precipitados de $\text{Al}(\text{OH})_3$ atrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, la cual predomina en algunas soluciones de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que si se sobredosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo, causando nuevamente el problema de turbiedad o color. **(Castrillon, 2006).**

- b. Coagulantes naturales:** Son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua **(Romero, 2000).**

Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos

lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados **(Yin, 2010)**.

2.2.4.6. Almidón.

El almidón es la principal fuente de carbohidratos sintetizada por las plantas superiores. En la célula se organiza en partículas discretas (gránulos), cuyo tamaño puede variar de 1 a 100 μm **(Yin, 2010)**.

Un gránulo de almidón contiene proporciones variables de amilosa y amilopectina **(Rivas et al., 2008)**. Ambos polisacáridos están constituidos de cadenas de D-glucosa unidos mediante enlaces a (1–4). La amilosa es esencialmente lineal, mientras que la amilopectina está altamente ramificada mediante enlaces a (1–6). La amilopectina forma cristales polimórficos tipo A– y B– que influyen en el arreglo de sus dobles hélices **(Rivas et al., 2008)**.

Los cristales tipo A producen hélices relativamente compactas con una menor proporción de agua, mientras que los B dan lugar a una estructura más abierta conteniendo un núcleo helicoidal hidratado.

Los estudios de difracción rayos X, permiten conocer este tipo de arreglos **(Rivas et al., 2008)**. La modificación produce una alteración en una o más de las propiedades físicas, químicas o estructurales del almidón, debido a la incorporación de un componente ajeno a su estructura, o a su degradación controlada por una modificación ácida. **(Yin, 2010)**.

El almidón, además de ser consumido como tal, se puede someter a una variedad de procedimientos de transformación que cambian sus propiedades funcionales y lo convierten en estabilizante, emulgente y gelificante. **(Yin, 2010)**.

En Colombia, se han realizado investigaciones sobre la utilización de coagulantes naturales, como el almidón de yuca y el de maíz,

los cuales, han sido evaluados junto con el sulfato de aluminio B y un polielectrolito comercial, como agentes coagulantes de aguas crudas superficiales. Los resultados obtenidos mostraron un buen desempeño del almidón de maíz, comparable con el polielectrolito y mejor que el sulfato de aluminio B; por el contrario, el almidón de yuca presentó un mal desempeño en estas condiciones y fue el menos efectivo de los agentes coagulantes evaluados. (Yin, 2010).

El almidón es un polisacárido constituido químicamente por dos polímeros de diferente estructura, la amilosa y la amilopectina. (Chávez, 2015)

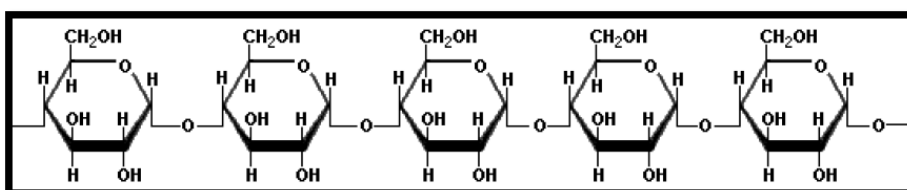


Figura 1: Estructura química de la molécula de amilosa. Fuente: (Perucini et al., 2014)

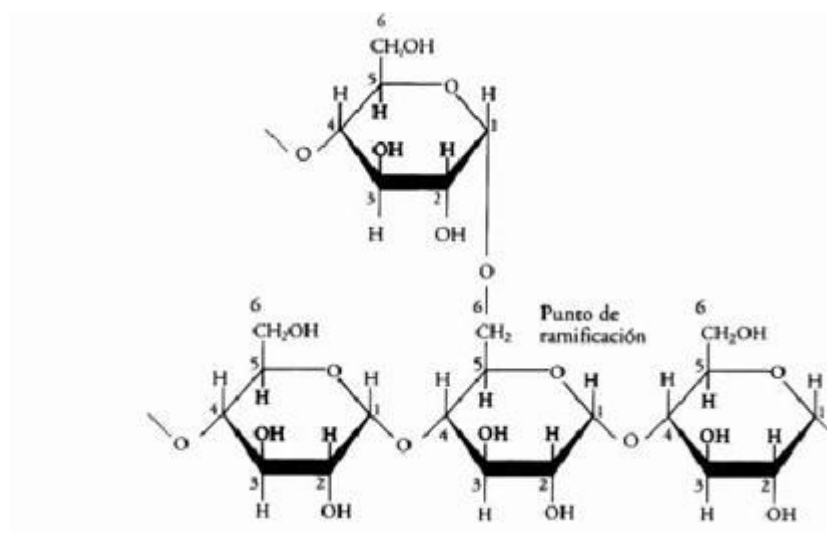


Figura 2: Estructura química de la molécula de amilopectina. Fuente: (Rivas y Bello, 2012).

2.2.5. Clarificación del agua

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. Es un proceso utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales

con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales que comprenden el tratamiento individual del agua proveniente de acueductos municipales de acuerdo con su uso final, ya sea agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases, etc. La clarificación incluye los subprocesos de coagulación, floculación y sedimentación. (Quintana, 2000).

➤ **Velocidad de agitación en el proceso de clarificación**

La velocidad de agitación del equipo de clarificación está relacionada directamente con el número de colisiones entre las partículas suspendidas en el agua. Debido a las características propias del proceso de clarificación. (Quintana, 2000).

2.2.6. Quebrada Juninguillo

La microcuenca Quebrada Juninguillo – Moyobamba, se encuentra ubicada en la zona de protección y conservación Ecológica (ZPCE) Juninguillo – Yanayacu, Distrito de Moyobamba, Provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín. Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran ubicados en las coordenadas UTM X: 283000, Y: 939000 y X: 298000, Y: 9341000. (Cobos, 2016). (Ver Anexo C).

La Quebrada Juninguillo, está comprendida dentro de la cuenca Media del Río Mayo, margen izquierdo del Río Mayo, que es un importante tributario del Río Huallaga. (Cobos, 2016).

Las descargas de agua de la microcuenca Quebrada Juninguillo, como consecuencia de las precipitaciones, se producen por efecto de la gravedad hacia la Quebrada Juninguillo (curso principal de la microcuenca), dicho cauce presenta pendientes moderadas, cuya cota se encuentra desde los 800 y 1500 msnm. Sin embargo, la parte media de la microcuenca tiene características de relieve con pendientes bastante pronunciadas, teniendo como consecuencia procesos erosivos relevantes y transporte de material granular; toda vez que las características edáficas de la parte media y alta de la microcuenca son de suelos

poco profundos y altamente inestables. Además, la Quebrada Juninguillo, presenta un flujo de aguas superficiales de manera permanente durante los doce meses del año, registrándose un caudal medio de 0.5m³/seg. Y el mismo que discurre de Norte Este a Sur Oeste como afluente del Río Mayo a la altura del puerto Juningue de la ciudad de Moyobamba. (Cobos, 2016).

2.2.7. Marco legal e institucional.

El presidente de la República

Considerando:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país; En el Perú se encuentra vigente; La Ley 28611 (**D.S N° 015-2015-MINAM**), donde se establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, en función al uso de los cuerpos de agua, la descarga de las aguas residuales tratadas o no, deben provocar un impacto tal que no se sobrepasen los valores establecidos.

Artículo 1: Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, detallados en el Anexo de la presente norma. (**MINAM, 2015**).

Tabla 1:
Estándares de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 1 (ECAS) Población y Recreacional.

ITEM	Parámetros	Unidad	A ₁	A ₂	A ₃
1	Turbiedad	U.N.T	5	100	**
2	pH	Potencial de Hidrógeno	6.5-8.5	5.5-9.5	6-Set
3	Conductividad	µS/cm	1500	1600	---
4	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	1000	1500
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	≥6	≥5	≥4
6	Sulfatos	mg/L	250	**	**
7	Nitratos	mg/L	10	10	10
8	Cloruros	mg/L	250	250	250
9	Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.2
10	Hierro	mg/L	0.3	1	1
11	Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.5
12	Dureza Total	mg/L	500	**	**
13	Oro	mg/L	N.D	N.D	N.D
14	Sodio	mg/L	200	200	200
15	Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05
16	Cobre	mg/L	2	2	2
17	Zinc	mg/L	3	5	5
18	Coliformes Totales	UFC/100 mL	50	3000	50000
19	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	0	2000	20000
20	Escheaichia Coli	UFC/100 mL	0	0	---

Fuente: MINAN-2015

UFC: Unidad Formadora de Colonias en 100 mL

UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

****** El parámetro no es relevante.

A1: Aguas que pueden ser Potabilizadas con desinfección.

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

2.3. Definición de términos básicos

- **Agua:** Es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Alcalinidad:** La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Estándar ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Flóculos:** Grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Microflóculos.** Creación de micropartículas desestabilizadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante (generalmente sales de aluminio o de hierro), el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

- **Turbidez:** Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010)**

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Sistema de hipótesis

H₁: La aplicación de clarificante de origen natural (almidón de yuca) logra remover significativamente el color y la turbidez en las aguas de consumo humano proveniente de la quebrada Juninguillo-La Mina, Moyobamba.

H₀: La aplicación de clarificante de origen natural (almidón de yuca) no logra remover significativamente el color y la turbidez en las aguas de consumo humano proveniente de la quebrada Juninguillo- La Mina, Moyobamba.

3.2. Sistema de variables

- **Variable Dependiente:** Turbidez y color
- **Variable Independiente:** Clarificante de origen natural (almidón de yuca).

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. De acuerdo a la orientación.

Aplicada

3.3.2. De acuerdo a la técnica de contrastación:

Explicativo

3.4. Diseño de investigación

Diseño correlacional:

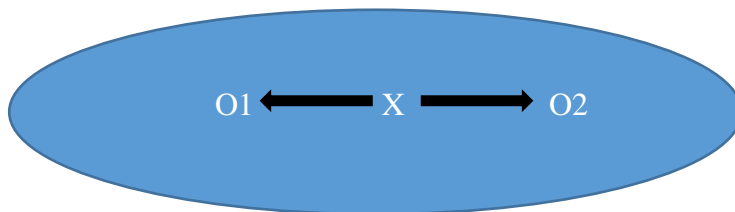


Figura 3: Diagrama del diseño.

Donde:

O1 = Parámetros iniciales de calidad del agua, antes del tratamiento.

X = Potabilización del agua usando clarificante natural.

O2 = Parámetros finales de calidad del agua, después de la coagulación con clarificante natural.

3.5. Población y Muestra

- **Población** : Comprende el volumen total de agua de la quebrada Juninguillo- La Mina, con un caudal de $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$.
- **Muestra** : Cantidad de agua necesaria para las pruebas con Equipo Prueba de Jarras 15 litros aproximadamente.

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Los procedimientos y actividades que se realizaron con el propósito de recabar la información necesaria para el logro de los objetivos de la investigación.

A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos que se realizaron y utilizaron para la recolección de datos:

Toma de muestras

Las muestras fueron recolectadas en bidón, para ser llevado a laboratorio. Para luego seguir los siguientes pasos:

- Se calculó el porcentaje del insumo (coagulante, floculante)
- Se pesó el insumo para hacer la solución al porcentaje estipulado.
- Se tomó los parámetros iniciales (turbidez, pH, color)
- Se llenó los 6 vasos precipitados con la muestra problema, cada uno con una capacidad de 1L
- Se programó el equipo a diferentes tiempos de prueba de jarras para la corrida.
- Se inyectó el coagulante a la dosis seleccionada para esta corrida.

Frecuencia de muestreo

Las muestras para los análisis mencionados, se colectaron mensualmente en el punto de captación, durante 3 meses consecutivos.

Parámetros analizados

Los datos se obtuvieron del análisis de las aguas de la quebrada Juninguillo –La Mina mediante los siguientes equipos analíticos:

Tabla 2:
Análisis de parámetros.

Parámetro	Equipo
Turbidez	Turbidímetro
Color	Colorímetro
Velocidad, tiempo y concentración óptima del clarificante.	Prueba de jarras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos se recolectaron durante 3 meses consecutivos de las aguas de las quebradas Juninguillo- La Mina; se analizaron los 02 parámetros (turbidez y color), tomando en cuenta también el pH considerando que por cada muestreo se utilizó 500 ml.

Se siguió los siguientes pasos, para el análisis de datos:

- Validez: Se define como el grado hasta el cual lo que se supone que se está midiendo se mida realmente.
- Representación gráfica de los resultados: en las representaciones graficas de los datos se utilizarán imágenes en lugar de tablas para presentar los resultados de la investigación. Los resultados en particular, los resultados claves, se pueden presentar de manera más poderosa y eficiente por medio de gráficas:
- Grafica de barras: se utilizó gráfica con barras rectangulares de longitudes proporcional al de los valores que representan las gráficas de barras. Se usó para comparar dos valores.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Parámetros iniciales de la quebrada Juninguillo- La Mina, Moyobamba

Se han tomado las muestras a las cuales se han medido los parámetros, sin adicionar coagulante.

Tabla 3:

Parámetros iniciales de la quebrada Juninguillo

Parámetros	unidades	inicial	ECAs
Color	UPC	125	15
pH	pH	8,7	6,5
Turbidez	UNT	22,81	5
Alcalinidad		16	--

Fuente: Elaboración propia, 2017.

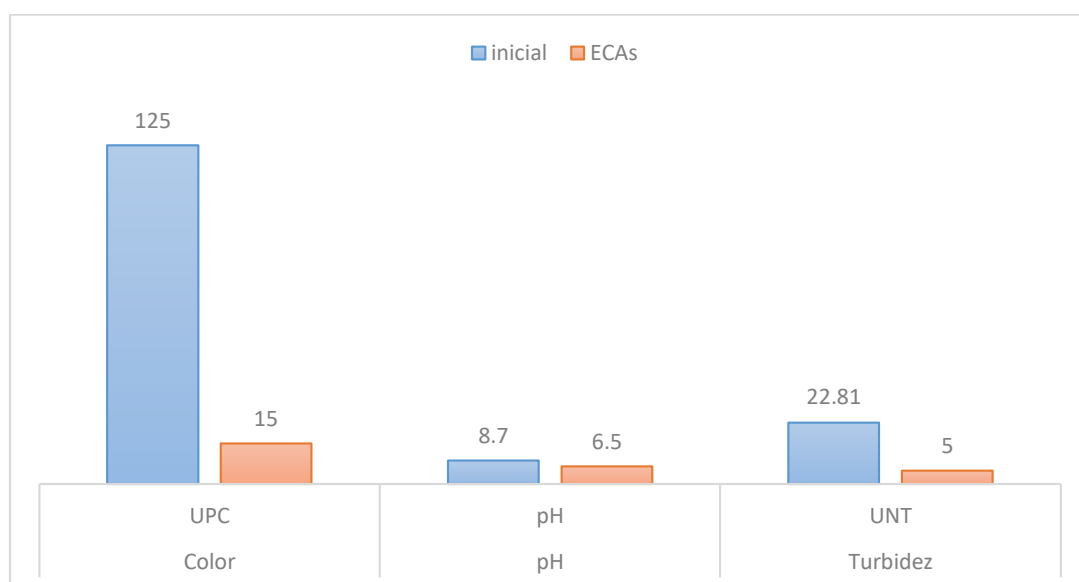


Figura 4: Parámetros iniciales de la quebrada Juninguillo, comparado con los ECAs

Fuente: Tabla 03.

Interpretación:

El agua de la quebrada Juningullo, demostrando tener los siguientes valores bastante elevados a los establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental- A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), en cuanto a color tiene un valor de 125 UPC por encima del 15 UPC que nos dice el ECAs, en turbidez está en 22,81 UNT de los 5 UNT que establece la norma, en cuanto al pH está en el rango adecuado para este estándar. Al inicio en el primer cuadro se ha medido la alcalinidad también, la cual tiene un valor de 16, indicando que esta agua no tiene muchas sales que puedan amortiguar la acidez de algunos compuestos que pueda adicionarse a esta para hacerla potable.

4.2. Determinación de la dosis optima del clarificante, velocidad y tiempo:

Usando tratamiento prueba de jarras, para el cual se han realizado varios ensayos variando la concentración del almidón, variando las velocidades y tiempos, hasta obtener la dosis optima, como se muestra a continuación:

4.2.1. Variando la concentración en la solución de almidón de yuca.

Tabla 4:

Primer ensayo con almidón de yuca al 1%

		Almidón al 1%					
Ensayo 01	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	105	90	85	90	80	80
Turbidez	UNT	15,81	13,24	13	12,66	13,19	12,57

Fuente: Elaboración propia, 2017.

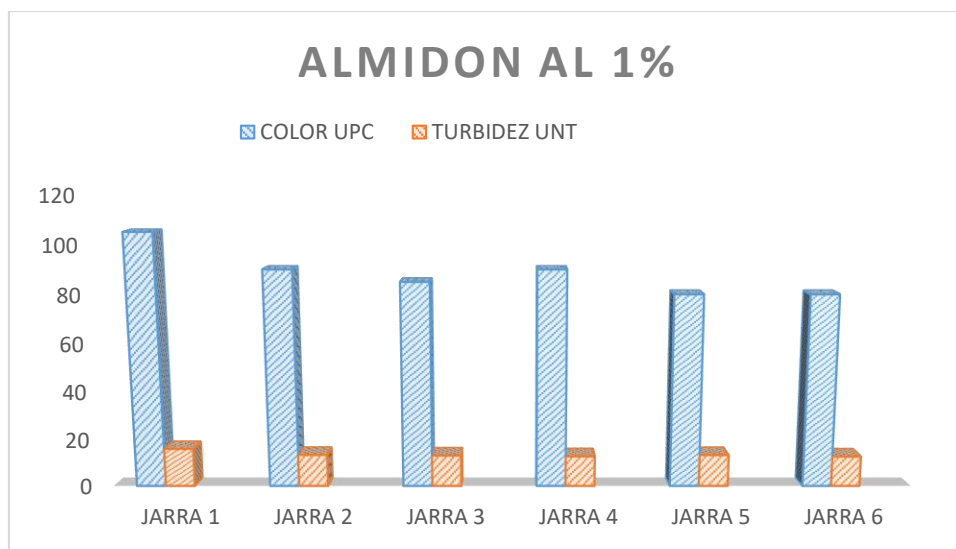


Figura 5: Primer ensayo con almidón de yuca al 1%

Fuente: Tabla 04.

Interpretación:

Utilizando como coagulante al almidón de yuca al 1%, en la velocidad de 300 rpm en la mezcla rápida, se ha podido remover el color de 125 UPC a 80 UPC que es el valor más bajo en la prueba, en cuanto a la turbidez se ha obtenido el valor más bajo de 12,57 en la jarra n° 6, donde se agregó 6 mL de la solución de almidón.

Tabla 5:

Segundo ensayo con almidón de yuca al 2%

		Almidón al 2%					
Ensayo 02	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	70	85	90	75	120	105
Turbidez	UNT	14,34	14,99	13,78	11,34	28,88	18,82

Fuente: Elaboración propia, 2017.

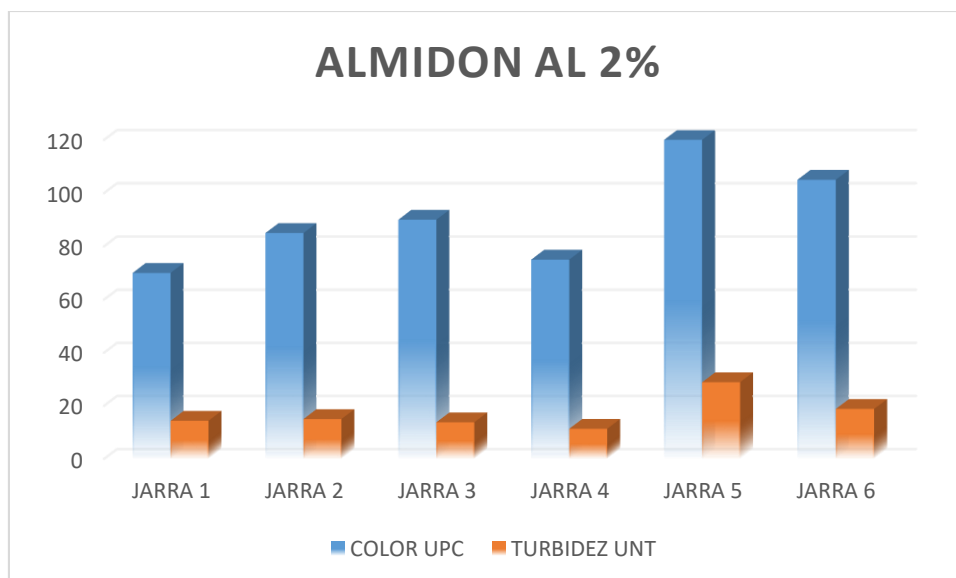


Figura 6: Segundo ensayo con almidón de yuca al 2%

Fuente: Tabla 05.

Interpretación:

En el segundo ensayo utilizando almidón de yuca a una concentración de 2%, a 300 r.p.m., se ha obtenido un valor más bajo en cuanto al color de 70 UPC en la primera jarra donde solo se adiciono 1 mL.; el valor más bajo para la turbidez en este ensayo fue de 11,34 UNT. Los valores obtenidos en este ensayo fueron los más bajos, pero también en algunas jarras se dispararon mucho haciéndola muy variable.

Tabla 6:

Tercer ensayo con almidón de yuca al 3%

		Almidón al 3%					
Ensayo 03	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	95	105	100	70	90	80
Turbidez	UNT	14,67	17,38	16,06	10,37	14,4	11,15

Fuente: Elaboración propia, 2017.

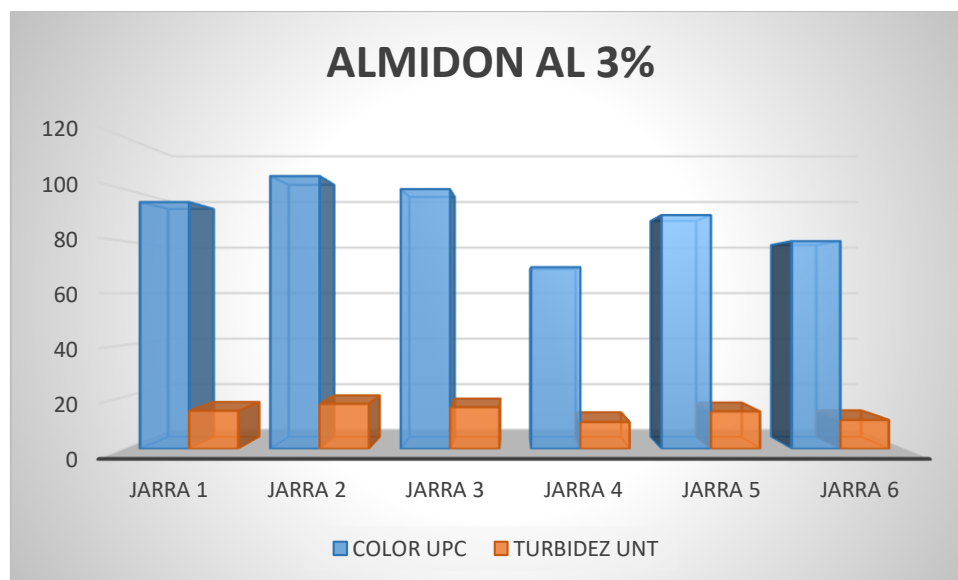


Figura 7: Tercer ensayo con almidón de yuca al 3%

Fuente: Tabla 06.

Interpretación:

Para el tercer ensayo realizado se utilizó almidón de yuca al 3% de concentración y a una velocidad de 300 r.p.m. en donde se encontraron los valores más bajos para el color: 70 UPC y para la turbidez de 10,37 NTU, y el pH como en los anteriores ensayos mantienen su valor, sin bajar demasiado. Siendo los resultados también muy variables en todas las jarras, pues, así como hay resultados bajos también encontramos los valores donde no se ha removido mucho el color y turbidez.

Tabla 7:

Cuarto ensayo con almidón de yuca al 4%

		Almidón al 4%					
Ensayo 04	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	95	90	95	95	90	80
Turbidez	UNT	15,77	13,39	16,85	15,57	11,82	13,16

Fuente: Elaboración propia, 2017.

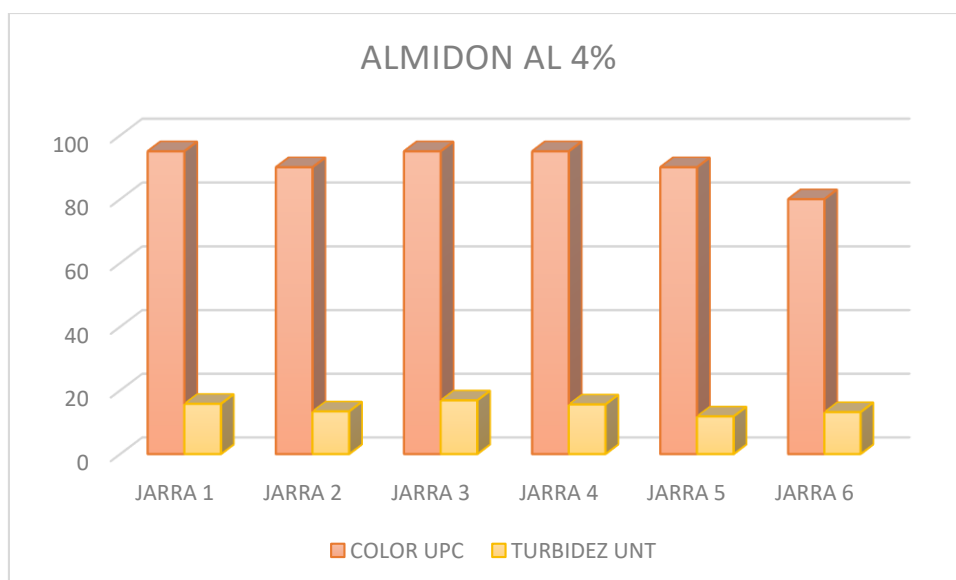


Figura 8: Cuarto ensayo con almidón de yuca al 4%

Fuente: Tabla 07.

Interpretación:

En el cuarto ensayo realizado a la misma velocidad de 300 r.p.m. se ha utilizado como coagulante al almidón de yuca cuya concentración es a 4%, obteniendo los siguientes resultados en cuanto a la remoción de color y turbidez, se llegaron a los siguientes valores más bajos encontrados: 80 UPC y 11,52 UNT respectivamente, manteniendo los demás valores cercanos y poco variables en las demás jarras.

Tabla 8:

Quinto ensayo con almidón de yuca al 5%

		Almidón al 5%					
Ensayo 04	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	85	86	95	95	85	90
Turbidez	UNT	16,7	13,32	13,23	13,15	12,14	11,4

Fuente: Elaboración propia, 2017.

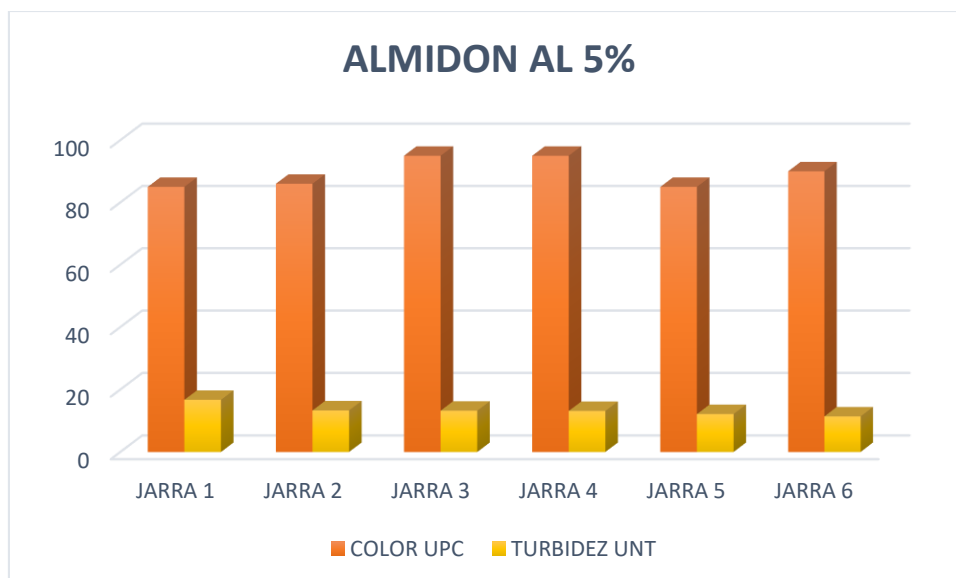


Figura 9: Quinto ensayo con almidón de yuca al 5%

Fuente: Tabla 08.

Interpretación:

Para el quinto ensayo que se realizó a 300 r.p.m. se utilizó el almidón de yuca a una concentración de 5% en cuyo ensayo se ha llegado a obtener los siguientes valores más bajos de turbidez y color: 11,4 NTU y 85 UPC.

Tabla 9:

Sexto ensayo con almidón de yuca al 6%

		Almidón al 6%					
Ensayo 04	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	85	86	95	95	85	90
Turbidez	UNT	15,6	14,2	13,18	12,48	13,2	12,7

Fuente: Elaboración propia, 2017.

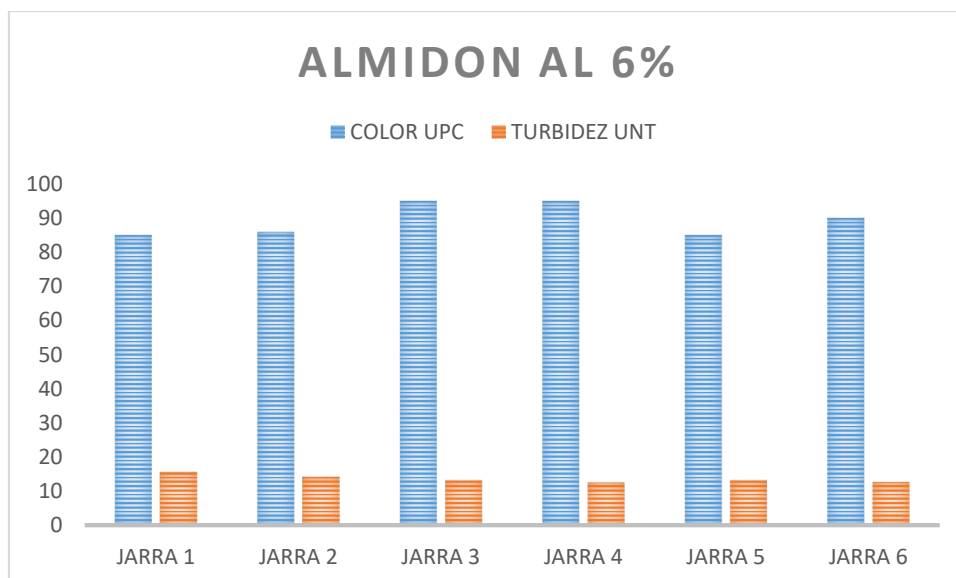


Figura 10: Sexto ensayo con almidón de yuca al 6%

Fuente: Tabla 09.

Interpretación:

En el sexto ensayo donde se utilizó como coagulante al almidón de yuca en 6% de concentración y a una velocidad de 300 rpm, se llegó a obtener los siguientes valores más bajos para la turbidez y color: 12, 48 NTU y 85 UPC respectivamente, aquí también el único parámetro más estable y poco afectado es el pH indicándonos su poca acidez.

Tabla 10:

Promedio total de los ensayos realizados a diferentes concentraciones de almidón de yuca

Parámetros	Unidad	almidón al 1%	almidón al 2%	almidón al 3%	almidón al 4%	almidón al 5%	almidón al 6%
Color	UPC	88,33	90,83	90,00	90,83	89,33	89,33
Turbidez	UNT	13,41	17,03	14,01	14,43	13,32	13,56

Fuente: Tablas 04, 05, 06, 07, 08, 09.

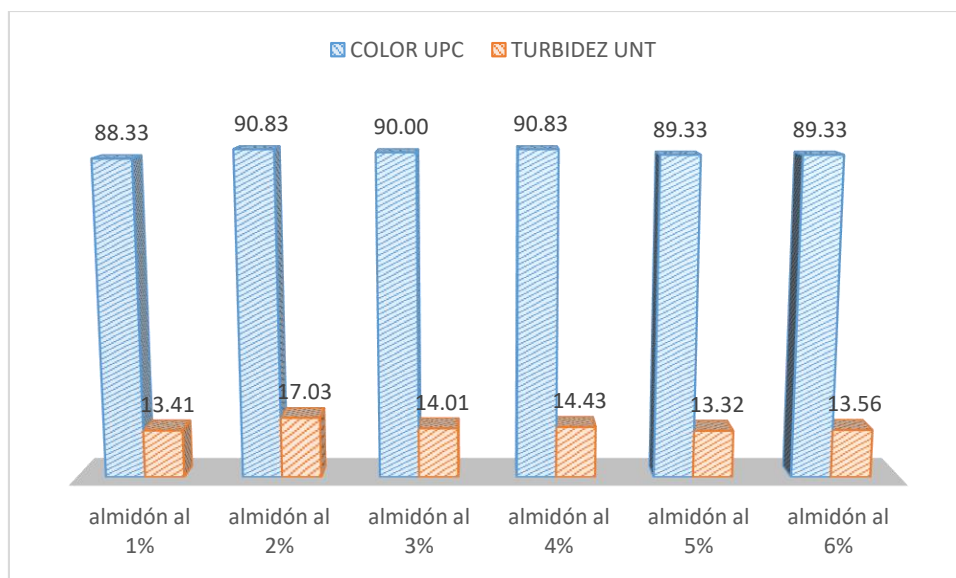


Figura 11: Promedio total de los ensayos realizados a diferentes concentraciones de almidón de yuca

Fuente: Tabla 10.

Interpretación:

En todos los ensayos que se realizaron a 300 rpm se ha variado la concentración del almidón que se prepara en una solución de agua destilada, así pues se ha resumido todos los valores promedios para cada ensayo, encontrándonos con el ensayo más efectivo al primero, que se realizó con almidón al 1%, donde podemos observar que tenemos en color un valor de 88,33 UPC y en cuanto a turbidez un valor promedio de 13,41 NTU, es así que determinamos óptimo en concentración al primer ensayo con almidón al 1%.

4.2.2. Variando las velocidades y tiempos de los mejores resultados obtenidos de la concentración, en la solución de almidón de yuca.

Tabla 11:

Ensayo 1 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

Almidón al 1%, 250 rpm

Ensayo 01	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	80	85	82	80	83	81
Turbidez	UNT	13,6	12,5	13,1	13,8	13,6	13,5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

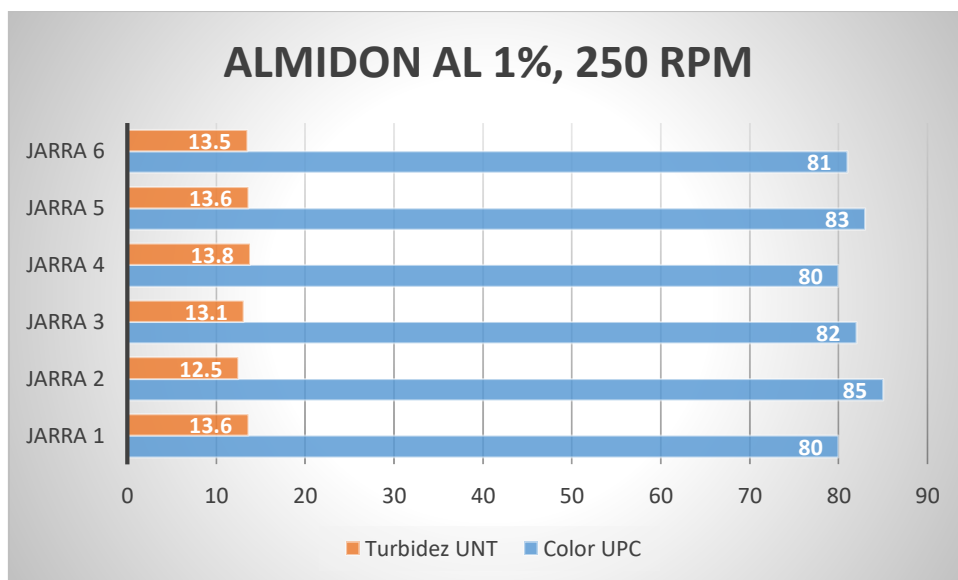


Figura 12: Ensayo 1 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

Fuente: Tabla 11.

Interpretación:

En este ensayo se ha realizado el cambio de velocidad a la mezcla rápida y a la mezcla lenta pasando del 300 rpm a 250 rpm, pero a la concentración óptima que se llegó durante la primera serie de ensayos, teniendo como resultado de turbidez y color: 12,5 NTU y 81 UPC respectivamente, estos son los valores más bajos obtenidos de estos parámetros en este ensayo.

Tabla 12:

Ensayo 2 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

Almidón al 1%, con 4 mL, 200 rpm							
Ensayo 01	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	70	70	65	72	70	65
Turbidez	UNT	13,7	13,9	13,2	13,6	13,4	13,2

Fuente: Elaboración propia, 2017.

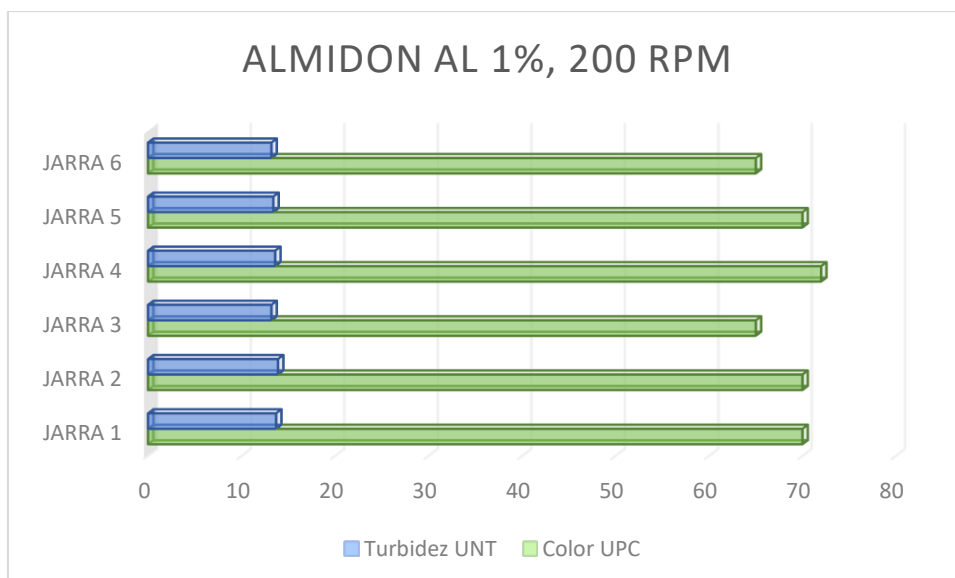


Figura 13: Ensayo 2 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración

Fuente: Tabla 12.

Interpretación:

En este ensayo se varió la velocidad del almidón al 1%, en 200 r.p.m., donde se ha obtenido los valores más bajos para el color y turbidez con 65 UPC y 13,2 NTU, en este ensayo se puede observar la mejor remoción del color pues ha bajado hasta la mitad del valor inicial medido.

Tabla 13:

Ensayo 3 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

		Almidón al 1%, 150 rpm					
Ensayo 01	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	90	85	80	75	85	80
Turbidez	UNT	13,17	10,59	10,65	11,42	11,47	11,5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

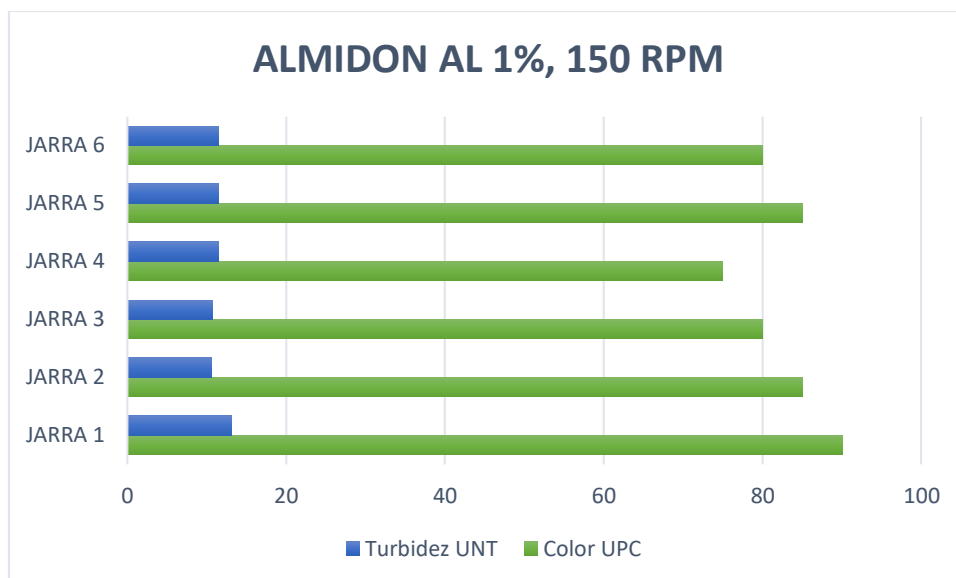


Figura 14: Ensayo 3 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración

Fuente: Tabla 13.

Interpretación:

Este ensayo se realizó a una velocidad de 150 rpm cuyo coagulante utilizado fue almidón al 1%, se ha obtenido los valores más bajos en cuanto a turbidez y color: 10,59 NTU y 75 UPC respectivamente, es en este ensayo en el que se ha reducido a la mitad el valor inicial de la turbidez.

Tabla 14:

Ensayo 4 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

Almidón al 1%, 100 rpm							
Ensayo 01	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Color	UPC	95	90	90	95	95	85
Turbidez	UNT	14,2	16,01	15,01	16,21	16,22	16,14

Fuente: Elaboración propia, 2017.

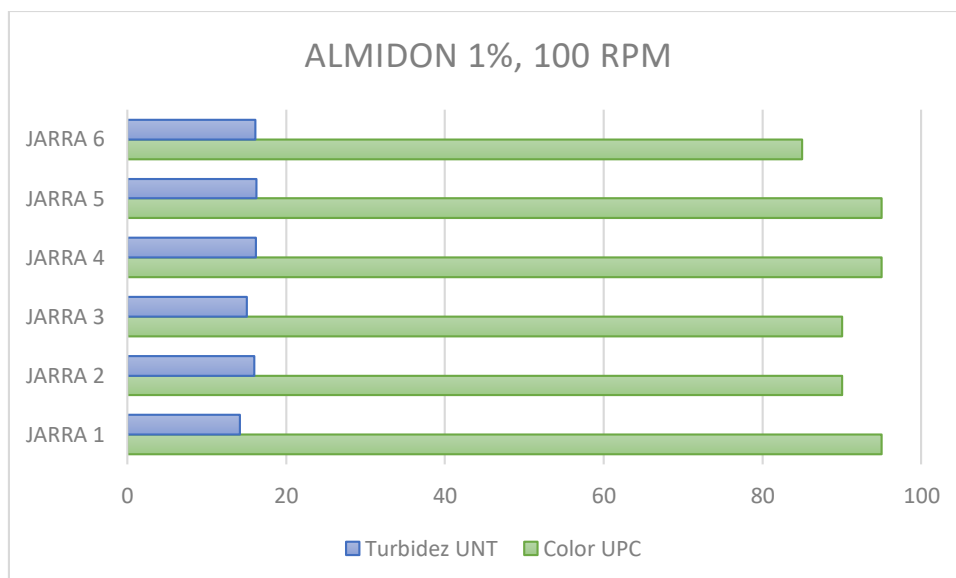


Figura 15: Ensayo 4 con variación de velocidad al valor óptimo de concentración.

Fuente: Tabla 14

Interpretación:

En este ensayo se ha realizado la mezcla rápida a una velocidad de 100 r.p.m. con el almidón al 1%, en el cual se han obtenido los valores más bajos para color 85 UPC y para la turbidez 14 NTU.

Tabla 15:

Promedio de las diferentes velocidades de los ensayos al óptimo de concentración

Ensayos	250 r.p.m.	200 r.p.m.	150 r.p.m.	100 r.p.m.
Color	81.83	68.67	82.50	91.67
Turbidez	13.35	13.50	11.47	15.63

Fuente: Tabla 11, 12, 13, 14.

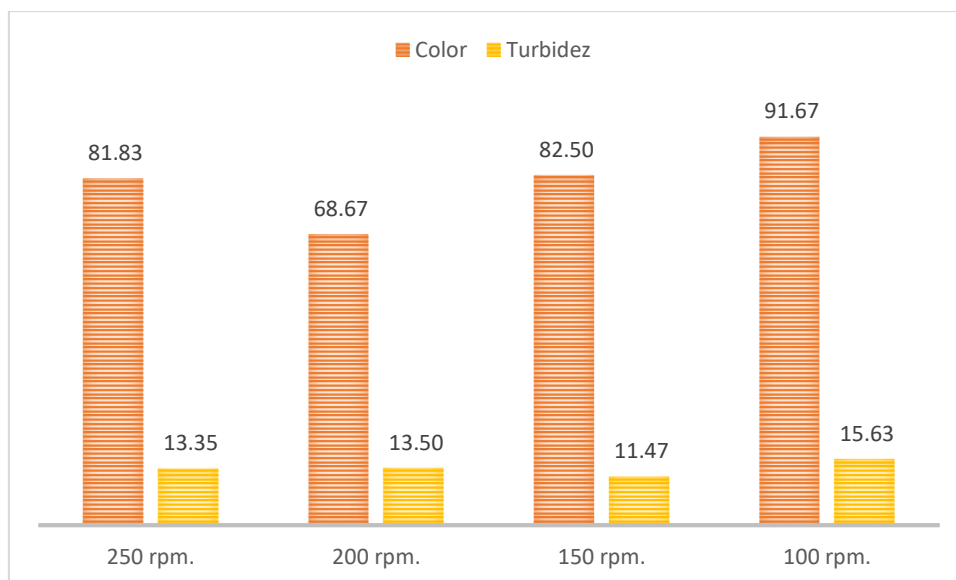


Figura 16: Promedio de las diferentes velocidades de los ensayos al óptimo de concentración

Fuente: Tabla 15.

Interpretación:

En promedios de los ensayos que se cambiaron las velocidades encontramos que, para la remoción de color y turbidez, las mejores velocidades fueron de 200 r.p.m. y 150 r.p.m., aunque por hablar de eficiencia encontramos que la mezcla hecha a 150 rpm ha entregado los valores más bajos en cuanto al parámetro de la turbidez pues en promedio tenemos 11,47 NTU, en cambio se puede observar en el gráfico el ensayo realizado a 200 r.p.m. fue el más efectivo para la remoción del color cuyo valor promedio es de 68,67 UPC.

4.3. Efectos del clarificante natural sobre la turbidez y color:

Teniendo en cuenta que los parámetros analizados fueron color y turbidez se ha evaluado los efectos sobre cada uno de ellos en los ensayos.

Tabla 16:
Remoción del color con almidón de yuca

Ensayo	Unidades	Color					
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Ensayo 01	UPC	105	90	85	90	80	80
Ensayo 02	UPC	70	85	90	75	120	105
Ensayo 03	UPC	95	105	100	70	90	80
Ensayo 04	UPC	95	90	95	95	90	80
Ensayo 05	UPC	85	86	95	95	85	90
Ensayo 06	UPC	85	86	95	95	85	90

Fuente: Tablas 04, 05, 06, 07, 08, 09.

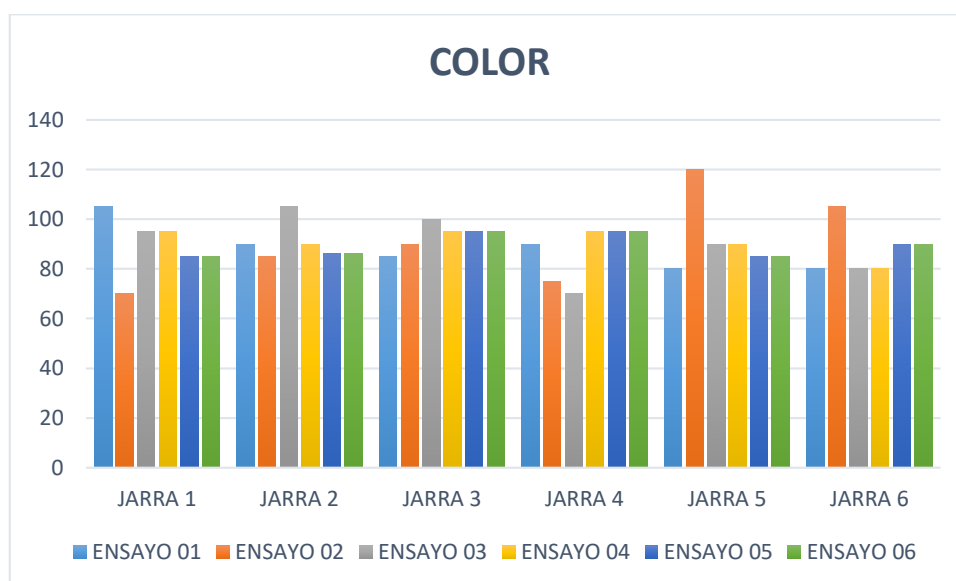


Figura 17: Remoción del color con almidón de yuca

Fuente: Tabla 16.

Interpretación:

Se ha reunido todos los valores encontrados en todos los ensayos y en todas las jarras, pero acá podemos evaluar que la acción del clarificante natural, almidón de yuca, es de 48% de remoción, pues demuestra de cierta forma bajar el color inicial, pero no del todo al encontrarse como valor más bajo a 70 UPC, y si nos vamos al reglamento de los LMPs este se ubica muy por encima del color establecido como apto para consumo humano.

Tabla 17:

Remocion de la turbidez con almidón de yuca

		Turbidez					
Ensayo	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Ensayo 01	UNT	15,81	13,24	13,14	12,66	13,19	12,57
Ensayo 02	UNT	14,34	14,99	13,78	11,34	28,88	18,82
Ensayo 03	UNT	14,67	17,38	16,06	10,37	14,4	11,15
Ensayo 04	UNT	15,77	13,39	16,85	15,57	11,82	13,16
Ensayo 05	UNT	16,7	13,32	13,23	13,15	12,14	11,4
Ensayo 06	UNT	15,6	14,2	13,18	12,48	13,2	12,7

Fuente: Tablas 04, 05, 06, 07, 08, 09.

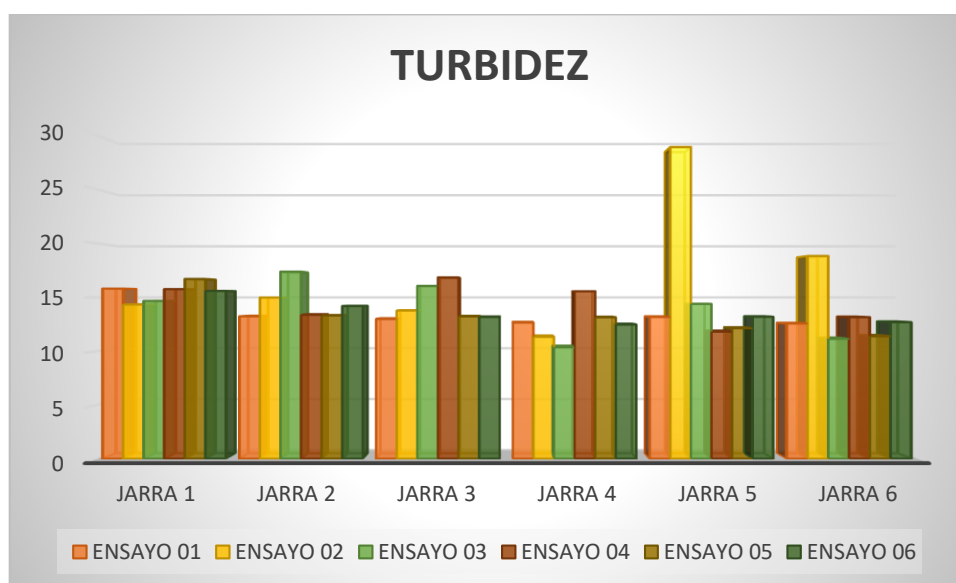


Figura 18: Remocion de la turbidez con almidón de yuca

Fuente: Tabla 17.

Interpretación:

La acción del clarificante natural en la remoción de la turbidez se le atribuiría un 50 % de eficiencia en cuanto a este parámetro, pues se ha obtenido como valor más bajo de turbidez: 10,59 NTU, el cual indica bajar lo que inicialmente se tenía, pero no está de acuerdo al reglamento de los LMPs de agua para consumo humano.

4.4. Comparación de los efectos de remoción del clarificante natural con el sulfato de aluminio

Comparar los efectos en la remoción del color y turbidez del clarificante natural con el sulfato de aluminio, teniendo un promedio de cómo actúa el clarificante natural se ha comparado con el agente químico usado para potabilizar el agua.

Tabla 18:

Remoción del color con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio

Color	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
Ens	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S
ayo	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3
1	105	12,00	90	15,00	85	14,00	90	13,00	80	13,00	80	12,00
2	70	12,00	85	13,00	90	15,00	75	11,00	120	10,00	105	11,00
3	95	16,00	105	15,00	100	21,00	70	19,00	90	22,00	80	17,00
4	95	7,00	90	9,00	95	12,00	95	11,00	90	10,00	80	9,00
5	85	12,00	86	13,00	95	10,00	95	14,00	85	11,00	90	10,00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

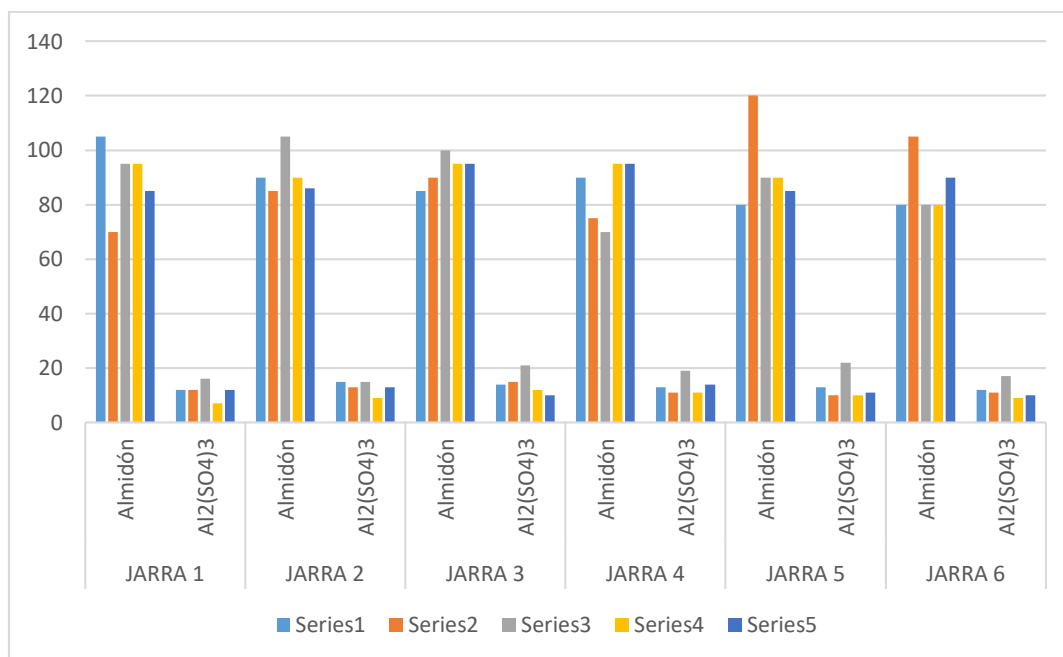


Figura 19: Remoción del color con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio

Fuente: Tabla 19.

Interpretación:

La remoción de color que se le atribuye al almidón de yuca como clarificante natural es efectivo en un 48%, pues el valor más bajo encontrado es de 70 UPC en los ensayos 2 y 3, comparando con los resultados de los ensayos realizados con sulfato de aluminio, se puede observar una gran diferencia en la clarificación del agua, puesto que el agente químico como coagulante ha llegado a obtener 7 UPC de color, siendo eficiente en un 85% , es decir el agente químico utilizado como coagulante funciona de mejor forma que el clarificante de almidón.

Tabla 19:

Remoción de la turbidez con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio

Turbi	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
dez												
Ensa	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S	Almi	Al2(S
yo	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3	dón	O4)3
1	15,8	0,93	13,2	0,79	13	0,86	12,6	1,03	13,1	0,95	12,5	0,86
	1		4				6		9		7	
2	14,3	0,72	14,9	0,88	13,7	1,15	11,3	1,56	28,8	1,7	18,8	0,71
	4		9		8		4		8		2	
3	14,6	0,88	17,3	1,15	16,0	1,54	10,3	0,64	14,4	1,38	11,1	1,1
	7		8		6		7				5	
4	15,7	0,7	13,3	0,65	16,8	0,8	15,5	0,68	11,8	1,13	13,1	1,02
	7		9		5		7		2		6	
5	16,7	0,81	13,3	0,74	13,2	0,53	13,1	1,00	12,1	0,82	11,4	1,2
			2		3		5		4			

Fuente: Elaboración propia, 2017.

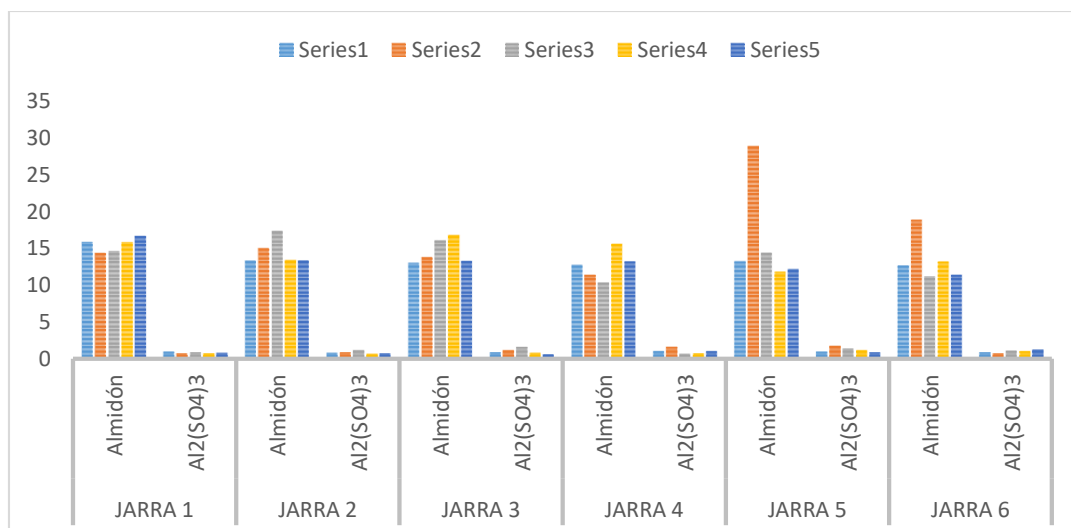


Figura 20: Remoción de la turbidez con el almidón de yuca y el sulfato de aluminio

Fuente: Tabla 20.

Interpretación:

La remoción de turbidez que se le atribuye al almidón de yuca como clarificante natural es efectivo en poca proporción, pues el valor más bajo encontrado es de 11 NTU en los ensayos realizados, pero como podemos apreciar en el gráfico, donde se ha comparado con los valores obtenidos con sulfato de aluminio, se puede observar una gran diferencia en la remoción de la turbidez del agua, puesto que el agente químico como coagulante ha llegado a obtener <1 UNT, siendo eficiente en casi un 95% , es decir el agente químico utilizado como coagulante funciona de mejor forma que el clarificante de almidón.

4.5. Discusión de resultados

Moscozo (2015), ha realizado análisis de muestras de aguas potabilizadas y ha encontrado trazas de sulfato de aluminio, orientado a encontrar qué porcentaje del sulfato de aluminio puede ser sustituido por almidón de yuca, en el proceso de coagulación- floculación para la potabilización de agua; es por ello que en la investigación se ha realizado también un conjunto de procedimientos de coagulación con la utilización de yuca, común para el consumo humano, este polímero natural ha demostrado ser un buen coadyuvante para la potabilización y clarificación del agua, pues nos libraría de los problemas de acidez y la eliminación de trazas que explica Moscoso.

Moscozo (2015), dice que los diferentes niveles de turbiedad se lograron empleando arcilla, para establecer turbiedades que van de 0 a 1000 NTU, en cambio en la tesis únicamente se utilizó el clarificante llegando a obtener 10,37 UNT.; mediante una serie de pasos físicos, se ha formado el clarificante, los cuales se ha utilizado en diferentes proporciones para medir turbiedades, se han realizado 9 ensayos y 36 pruebas, en la cual se ha determinado la dosis optima del almidón al 1% con un resultado de 11 NTU y 70 UPC, para la comparación también se ha determinado que el agente químico ha realizado un mejor trabajo en la remoción de la turbidez y color, llegando a una eficiencia de un 85%, es decir coincidimos con lo que se realizó anteriormente que es utilizar en diferentes proporciones los dos tipos de agentes clarificantes, uno natural y otro químico, pues solo ahí se lograrían los óptimos.

Hernández et. al (2012). En este estudio se compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sulfato de aluminio grado comercial, en la investigación realizada se utilizó almidón de yuca como removedor de la turbidez y el color y de modo separado se realizó una prueba con sulfato de aluminio para comparar su capacidad, los resultados indican que la mayor reducción de color (94 % de eficiencia) se obtuvo con el tratamiento de (2 mg/L de yuca más 28 mg/L de sulfato de aluminio). En cuanto a la remoción de turbiedad se observa que los tratamientos 1 y 2 con una reducción del 98,7 y 97,9 % respectivamente. Finalmente, el pH no varió significativamente para todos los tratamientos. Igualmente coincidimos que con las pruebas realizadas con almidón de yuca el pH fue un parámetro que no ha cambiado en lo absoluto cuando utilizamos el almidón natural, determinando que la dosis ideal del almidón fue al 1%, es decir 1mg. /L. del cual se ha colocado en la prueba de jarras en distintas proporciones donde el la jarra de 1ml se determinaron los mejores parámetros, es así que su eficiencia en la remoción va de un 48%, solo la mitad de lo que el sulfato de aluminio al 1% también logro.

(Arcila et.al, 2014). Concluye que el almidón de plátano muestra ser adecuado como ayuda de floculación, aunque se presentó una sedimentación lenta. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad se obtuvo para los siguientes valores de los factores: pH de 5, 50:50 porcentaje en peso de la combinación sulfato de

aluminio/almidón de plátano, velocidad de mezcla rápida de 150 r.p.m., velocidad de mezcla lenta de 20 r.p.m. Se coincide con la probabilidad de utilizar el almidón de yuca como floculante, mas no como un coagulante, pues tomando en cuenta a los parámetros de turbidez, color, pH se logró determinar la dosis optima del almidón de yuca al 1% en una velocidad de 200 r.p.m., en la mezcla rápida fueron los valores más bajos, pero no han llegado a los esperados por la norma peruana.

(**Pompolio, 2013**), haciendo uso de floculantes de origen natural de tres especies de Opuntia: Opuntia imbricala, Opuntia ficcus y Opuntia microdasys, lo cual se realizó utilizando acetona como solvente, lográndose así un rendimiento entre 2.5 y 7.0 % en base húmeda para remover la turbidez del agua; En las muestras en que se aplicó alumbre y coagulante natural se obtuvo una remoción de color de 200 a 35 unidades, lo que representó un 82.5 %, teniendo como resultados ineficiente también, al utilizar solamente el coagulante natural y sin sulfato de aluminio, la remoción que presentó no es la esperada debido a una sedimentación deficiente, ya que con el coadyuvante se aumenta el tamaño del floc pero no se consistencia e incremento de peso. Coincidiendo con el trabajo realizado para remover la turbidez con la utilización de solo el almidón de yuca, es decir sin modificar ni utilizar ayudantes químicos, se ha logrado bajar estos parámetros del agua, pero no fueron lo suficiente para llegar a lo reglamentado en los LMPs, en cambio los resultados con sulfato de aluminio fueron mucho mejores a los esperados con el clarificante natural.

CONCLUSIONES

El clarificante natural utilizado en la tesis de investigación, hecho a base de almidón de yuca, ha removido en 48% del color inicial al ser aplicada al agua de la quebrada Juninguillo y en un 50% la turbidez del agua en las pruebas óptimas, realizada en la prueba de jarras.

Como clarificante natural, sin ninguna adición de químicos este demuestra no afectar en turbidez y color al agua de la quebrada a ninguna concentración, ni mucho menos en la variación de las velocidades.

La concentración óptima encontrada en el conjunto de ensayos realizados en la prueba de jarras, fue de 1%, es decir 1 mg de almidón /L de agua destilada (relación: peso/ volumen) de solución de almidón de yuca.

Se ha encontrado que la velocidad influye de diferente forma tanto para la turbidez y el color, pues pueden ser dos parámetros a los cuales confundimos en significado, pero que son y actúan de diferente forma en el agua.

La velocidad óptima encontrada, con la utilización del clarificante natural a base de almidón de yuca, para la turbidez es de 150 rpm y para el color fue de 200 rpm, en la concentración del 1% de almidón de yuca, en el cual se ha obtenido los mejores resultados en este parámetro; pero no llego a cumplir con los Límites Máximos Permisibles, en ninguno de los mencionados.

El gran problema encontrado en las pruebas realizadas a varias velocidades, fue que sedimentación es mucho más lenta cuando estas se realizan con almidón pues los flocs formados tienen poca densidad y por lo tanto tardan en sedimentar.

Los valores alcanzados con la utilización del clarificante natural como coagulante ha obtenido valores en turbidez y color, no se encuentran dentro de lo que establece el LMPs, puesto que tiene de 8 a 15 unidades aún mayores a las estipuladas para color 15 UPC y para turbidez 5 UNT.

En comparación con la utilización del agente químico más usado en las plantas de tratamiento (sulfato de aluminio), este ha demostrado como coagulante ser efectivo por su poder de remoción de un 85% del color y 90% turbidez, llegando este a alcanzar con los Límites reglamentados por la ley peruana.

Los valores esperados como clarificante natural no fueron los esperados para hacerla apta al consumo humano, pero sí como tratamiento optativo de aguas contaminadas.

RECOMENDACIONES

Sería mejor utilizar el clarificante como ayuda para amortiguar el pH que muchas veces en algunas pruebas y en muchos tratamientos es notablemente afectado, el cual lo vuelve peligroso para el consumo humano.

Mejorar los procesos de coagulación floculación de un tratamiento realizado, utilizando el almidón natural como floculante que ayude en la formación de flocs, mas no como coagulante porque necesita de ayuda para sedimentar.

Utilizar y dar importancia a la utilización en proporción con lo comúnmente utilizado en una planta de tratamiento de agua potable con el fin de mejorar la salida de agua poco contaminada con excesos de hierro.

Mezclar en proporciones aceptables a los componentes químicos para potabilizar con la alternativa natural del clarificante de yuca, para mejorar la salida del agua y ayudar en la degradación natural de los próximos lodos que queden de la sedimentación, las cual no sería muy toxica debido a los tratamientos realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

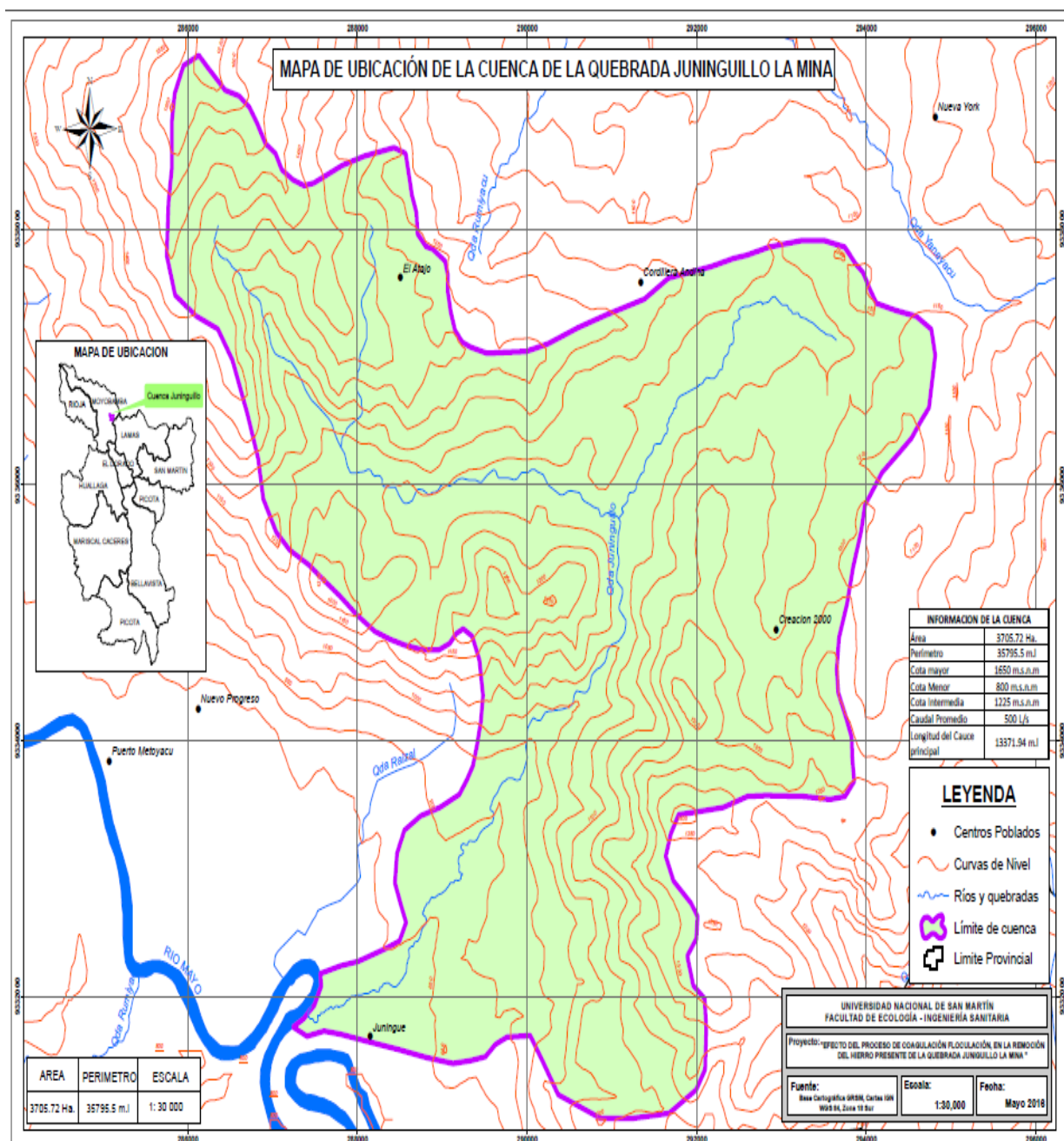
- APHA-AWWA-WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21º Edición. New York.
- Andia, Y (2000). *Tratamiento de agua. Coagulación y floculación. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico*. SEDAPAL. Lima. Perú.
- Arboleda, J (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Análisis del agua. Colombia*. Mac-Graw Hill.
- Arcila, J. Duque, L. Herrera, O. Pacheco, S. Rincón, A & Trujillo, D. (2014). *Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano*. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia.
- Chávez, A (2015). *Obtención de Almidón Modificado a partir de tres cultivares de Musáceas*. Universidad de Caldas. Colombia.
- Castrillón, D. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana*. Lima
- Cobos, F (2016). *Determinación del estado ecológico de la quebrada de Juningullo mediante parámetros hidrobiológicos y fisicoquímicos. Moyobamba – 2016*. Universidad Nacional de San Martín. Perú.
- Coto, J. (2011). *Estudio preliminar del uso de los coagulantes químicos en la coagulación floculación de aguas residuales Tecnología en Marcha. (Tesis inédita de maestría)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Cubas, A (2013), *Evaluación de la quebrada Juningullo y determinación de hierro*, Universidad Nacional de San Martín.
- Hach, Compani. (2005). *cintas reactivas. Obtenido de carbotecnia: <http://www.carbotecnia.info/producto/tiras-reactivas-analisis-aquachek-5-en-1>*
- Hernández, J. Laines, J. & Solís, R. (2012). *Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales*, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- Jaramillo, J. & Ramírez, H. (2015). *Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua*. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

- Malaver, C. Lugo, U. Rodríguez, M & Rojas, C. (2007). *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. Umbral Científico. Perú. 11:8-16.*
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid: Díaz de Santos.*
- Mihelcic, J. & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño. México, D.F: Alfa omega.*
- MINAM, (2015). *Presidente de Consejo de Ministros. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. D. S. N° 044-98-PCM. 1,2 Pág. Lima – Perú.*
- Moscoso, L (2015). *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación-floculación en Sistemas de tratamiento de agua para potabilización. Universidad de San Carlos de Guatemala.*
- PEAM, Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural-San Martín. (2006). *Expediente Técnico sustentatorio para convertirse como Área de Conservación Municipal Rumiyacu-Mishquiyacu. Moyobamba. Perú.*
- Perucini, M. Aparicio & Páramo (2014). *Efecto de la lintnerización sobre el contenido de almidón resistente en almidón de plátano. Caracterización fisicoquímica, térmica, estructural y de digestibilidad. Universidad del Papaloapan. Tuxtepec. Colombia*
- Plan de Mediano Plazo (2013 – 2016). *Documento que resume la estrategia integral del PNSR para los próximos 4 años, MVCS – Perú.*
- Pompolio, C. (2013). *Uso de Floclantes de Origen Natural en el Tratamiento del Agua en Términos de Turbidez en el Rio Santa - Huaraz. Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Perú.*
- Quintana, R. (2000). *Cómo tratar el agua. Documento técnico. Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C.*
- Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA /Ministerio de Salud. *Dirección General de Salud Ambiental – Ministerio de Salud, Lima – Perú.*

- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación –floculación de una planta de tratamiento de agua potable*”. Universidad Nacional de Colombia.
- Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Marcombo.
- Rivas, M. & Bello, L. (2012). *Almidón acetilado de plátano. Caracterización fisicoquímica y molecular*. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Colombia.
- Rodier, J. (1990). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona – España.
- Romero, J. (2000). *Calidad del Agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua-Evaluación y diagnóstico*. 1ª Edición. Medellín: Ediciones de la U.
- Spinneli, J. (2001). *Quitosa, polielectrolito natural para el tratamiento de agua potable*, Tesis de Maestría, Universidad de Santa Catarina, Brasil.
- Vázquez, O. (1994). *Extracción de Coagulantes Del Nopal y Aplicación en la Clarificación de Aguas Superficiales*, México: Editorial Zeta-Meter.
- Yin, R. (2010). *Utilización de coagulantes en plantas de tratamiento de agua potable*. Procesos biotecnológicos. México.

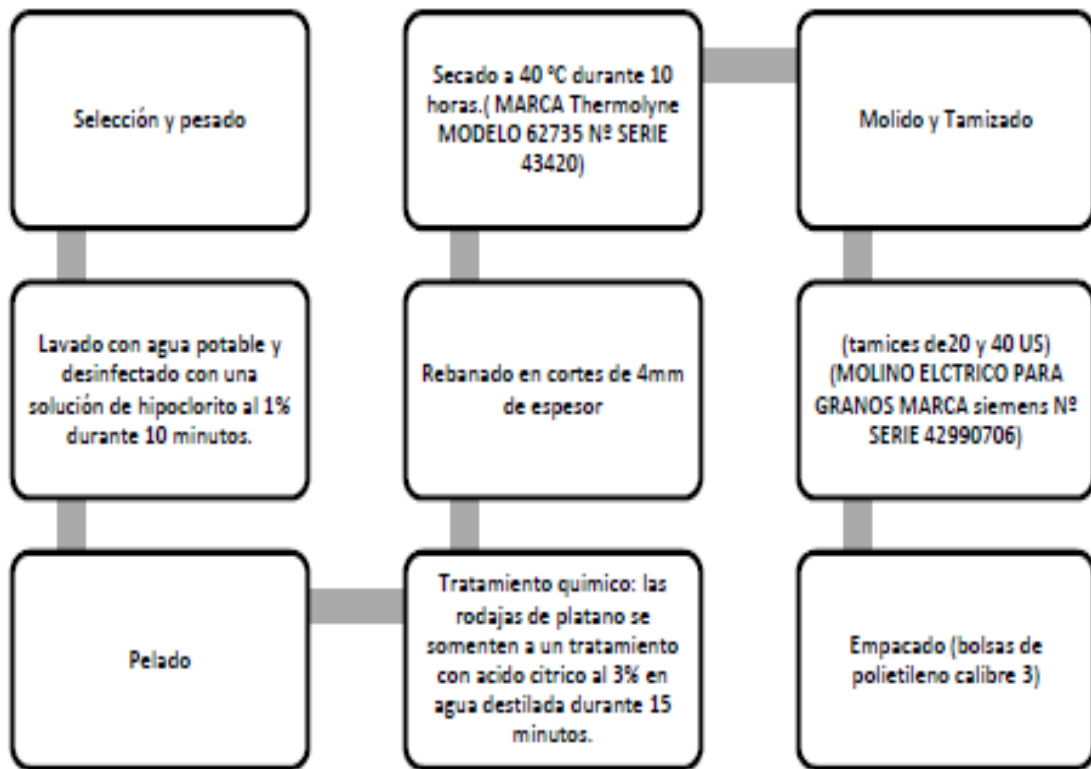
ANEXOS

ANEXO 01: Ubicación de la quebrada Juningullo.



FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 02: Elaboración del almidón de yuca



Fuente: (Chávez A., 2015)

ANEXO 03: Elaboración de la solución patrón del almidón de yuca

- Para obtener 10000 mL de solución al 1% de Almidón de yuca, aplicamos la fórmula:

$$\% W = \text{WSTO} \times 100 / \text{WSOL}$$

$$\% W = 10 \text{ gr almidón} \times 100 / (10 \text{ gr almidón} + 990 \text{ gr agua})$$

$$\% W = 1\% \text{ Almidón de yuca.}$$

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 04: Panel fotográfico

Foto 01: Programación del equipo de prueba de jarras



Foto 02: colocación de las muestras de agua para la coagulación



Foto 03: Observación y control de las muestras



Foto 04: Observación del proceso de formación de los floculos

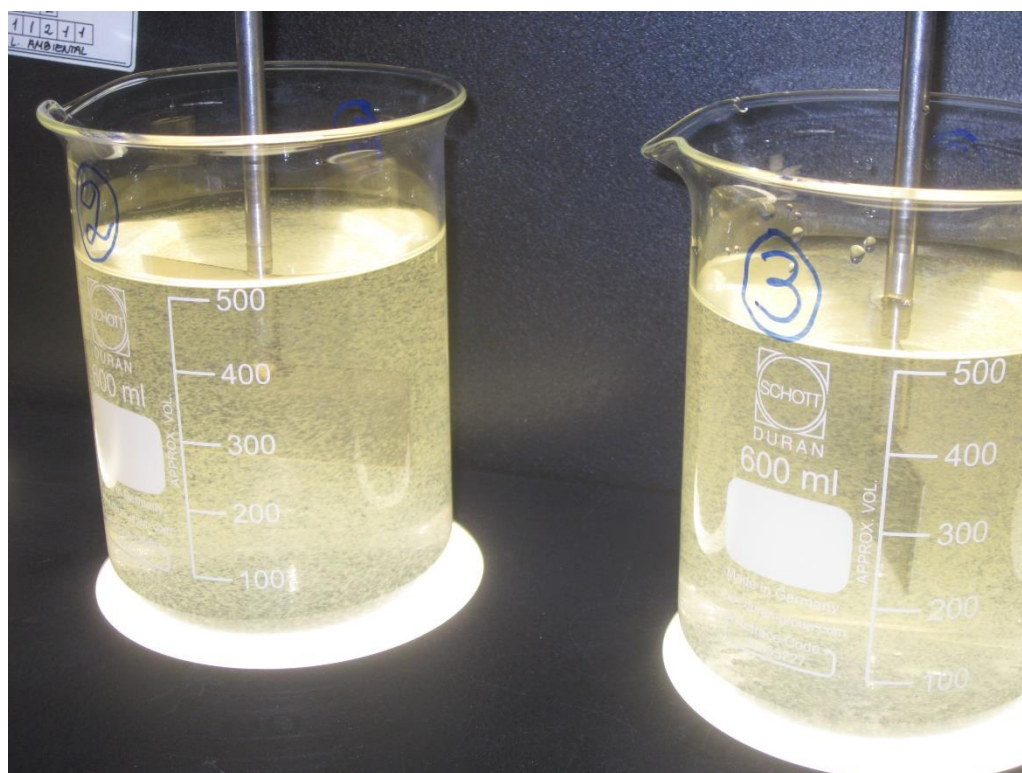


Foto 05: Sedimentación y clarificación del agua

